

我们只解答不一般的问题
讲述军事科技的真相

别告诉我你懂军事

《深度军事》编委会◎编著

清華大学出版社

新军迷系列丛书

别告诉我你懂军事

（空战篇）

《深度军事》编委会 编著

清华大学出版社
北京

内 容 简 介

本书采用问答的形式对空天作战知识进行讲解，书中精心收录了读者广为关注的近百个热门问题，涵盖二战机炮空战、现代导弹空战、航天器设计制造、未来太空战、航天事故、航天员等多个方面，对每个问题都进行了专业、准确和细致的解答。为了帮助读者理解复杂的航空航天知识，并增强图书的趣味性和观赏性，书中还配有丰富而精美的示意图和鉴赏图，以及生动有趣的小知识。

本书结构严谨，讲解透彻，图片精美丰富，适合广大军事爱好者阅读和收藏，也可以作为青少年的科普读物。

图书在版编目 (CIP) 数据

别告诉我你懂军事 . 空战篇 /《深度军事》编委会编著 . —北京：清华大学出版社，2019
（新军迷系列丛书）
ISBN 978-7-302-51576-0

Ⅰ . ①别…　Ⅱ . ①深…　Ⅲ . ①军用飞机—图解　Ⅳ . ① E92-64

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2018）第 257306 号

责任编辑：李玉萍
封面设计：李　坤
责任校对：张彦彬
责任印制：丛怀宇

出版发行：清华大学出版社
　　网　　址：http://www.tup.com.cn，　http://www.wqbook.com
　　地　　址：北京清华大学学研大厦 A 座　　　邮　　编：100084
　　社 总 机：010-62770175　　　邮　　购：010-62786544
　　投稿与读者服务：010-62776969，c-service@tup.tsinghua.edu.cn
　　质 量 反 馈：010-62772015，zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn
印 装 者：北京亿浓世纪彩色印刷有限公司
经　　销：全国新华书店
开　　本：146mm×210mm　　印　　张：9.875　　字　　数：220 千字
版　　次：2019 年 1 月第 1 版　　印　　次：2019 年 1 月第 1 次印刷
定　　价：49.80 元

产品编号：079109-01



1903年12月17日，美国莱特兄弟制造的第一架飞机“飞行者1号”在北卡罗来纳州试飞成功，人类从此进入了航空时代。飞机出现之初，基本上是一种娱乐的工具，主要用于竞赛和表演。但是当一战爆发后，这个“会飞的机器”迅速被应用到战场上。到了二战时期，飞机已经成为各国军队的重要装备，空战也逐渐成为战争的重要组成部分。

在飞机诞生半个世纪以后，人类对于天空的探索又前进了一大步。1957年10月，世界第一颗人造地球卫星“斯普特尼克1号”在苏联发射成功，开创了人类航天新纪元，宇宙空间开始成为人类活动的新疆域，这一年也被定为第一个国际空间年。时至今日，航天技术已经在世界范围内取得了巨大的进展，并广泛应用于科学活动、军事活动、国民经济和社会生活的许多部门，产生了极其重大而深远的影响。

由于太空上可利用的资源比地球上要丰富得多，所以许多国家一直在努力提升本国的航天技术，完善本国的航天系统。不过，航天系统是现代典型的复杂工程大系统，具有规模庞大、系统复杂、技术密集、综合性强，以及投资大、周期长、风险大等特点，并非所有国家都能承受。完善的航天系统是一个国家航天实力和综合国力的重要标志，目前世界上只有为数不多的国家拥有这种实力。

面对浩瀚无垠的太空，即便是航天实力雄厚的美国、俄罗斯、法国等一些国家，也仍有数之不尽的难题亟待解决。尽管世界各国已经探索太空多年，但是人类对于太空的认识依旧有限。对于普通人来说，大气层内的空间尚且让人心存疑问，神秘的太空更是遥不可及的存在。从大

气层内到外太空，从航空器到航天器，从空战到天战，无一不是高科技凝聚的结果。现代导弹空战与传统机炮空战有何区别？太空战与传统战争相比有何特点？载人航天需要克服哪些技术难题？国际空间站的作用是什么？许多人都曾有过这样的疑惑，却无从获得解答。

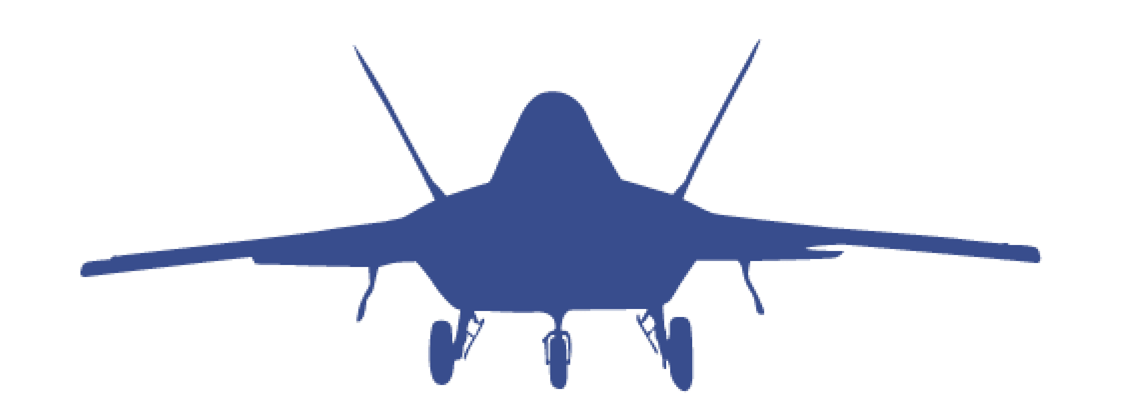
针对这种情况，本书特意采用问答的形式对空天作战知识进行讲解，书中精心收录了读者广为关注的近百个热门问题，涵盖空天作战的各个方面，可以帮助读者全面和深入地了解二战机炮空战、现代导弹空战以及未来太空战的知识。

本书是真正面向军事爱好者的基础图书，特别是作为广大军事爱好者的参考资料和青少年朋友的入门读物。全书由资深军事团队编写，力求内容的全面性、趣味性和观赏性。

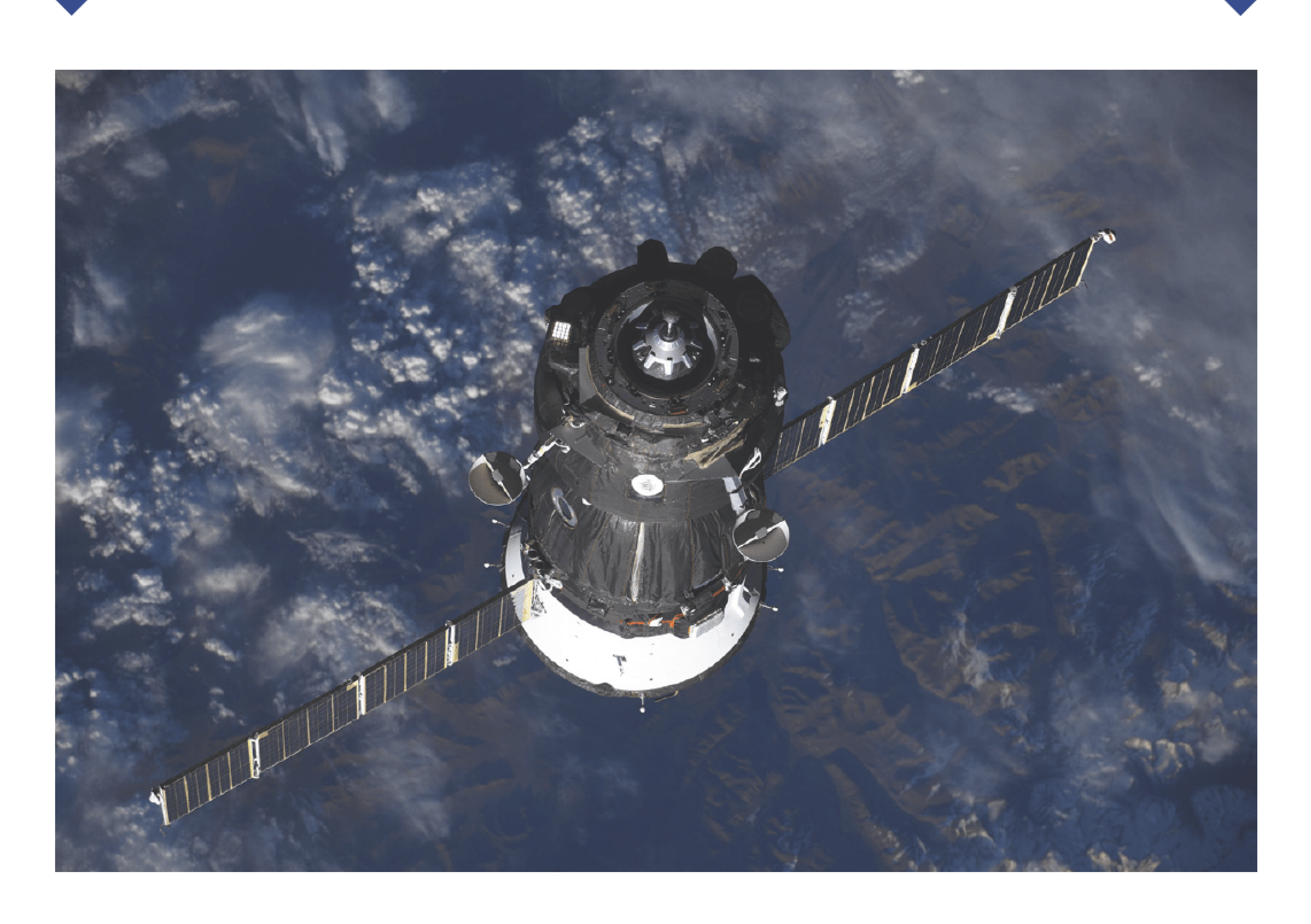
本书由《深度军事》编委会创作，参与本书编写的人员有阳晓瑜、陈利华、高丽秋、龚川、何海涛、贺强、胡姝婷、黄启华、黎安芝、黎琪、黎绍文、卢刚、罗于华等。对于广大资深军事爱好者，以及有意了解国防军事知识的青少年，本书不失为最有价值的科普读物。希望读者朋友们能够通过阅读本书循序渐进地提高自己的军事素养。


目 录





空战理论篇



1957 年 10 月 4 日和 1958 年 1 月 31 日，苏联和美国分别发射第一颗人造卫星，此后双方开始了对外层空间的争夺。1959 年，美国空军条令中首次以“航空航天力量”代替“航空力量”，把地球表面以上的整个空间称为“航空航天空间”，并视为空军的作战环境。空天一体的概念由此诞生。对于普通人来说，无论是辽阔的天空，还是浩瀚的太空，都是充满未知的神秘空间，航空航天装备也是常人难以接触的高科技结晶，让人充满好奇和疑问。

 NO.1　夺取制空权的主要方法有哪些？

制空权（command of the air），指交战一方在一定时间对一定空间的控制权。1921 年，意大利军事理论家朱里奥 • 杜黑在他的代表性著作《制空权》中首次系统地提出了制空权理论。这一理论对两次世界大战之间各国的空军建设，尤其对轰炸机的发展有过重要的影响。

现代战争立体化程度愈来愈高，交战双方争夺制空权的斗争贯穿战争的全过程，制空权的归属极大地影响战争全局和各个阶段，争夺制空权的斗争已成为现代战争中的重要组成部分。掌握了制空权，就能限制敌方航空兵和防空兵力、兵器的战斗活动，保障己方航空兵的行动自由，使陆、海军的作战行动得到有效的空中掩护，国家重要目标不受敌方航空兵的严重危害。

一般来说，夺取制空权的主要方法有以下几种。

1）空战

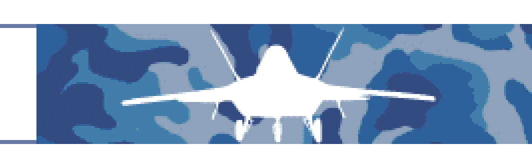
空战是争夺制空权的最直接和最主要的手段，目的是在空中拦截并歼灭敌人的轰炸机、攻击机、战斗机和侦察机，主要空战武器是机载航炮和空对空导弹。近距离格斗用航炮，远程拦截用空对空导弹。

2）空中突袭

突袭机场既可以破坏敌方机场，也可以击毁敌机于地面，甚至包括摧毁



美国 F-22“猛禽”战斗机是典型的空中优势战斗机



敌方前线或后方的飞机以及摧毁制造飞机的生产基地，破坏敌人的战争潜力，使敌机无法升空作战。突然性是空袭作战的主要特点。二战中，德国侵略波兰、挪威、丹麦、法国、比利时、荷兰、卢森堡、苏联等国家时，都是首先使用突然袭击，摧毁对方机场、飞机，破坏对方指挥系统、通信设施、交通枢纽、战略要地和战争潜力，使对方遭受重大损失。在夺取制空权后，其地面部队在空军的掩护下占领了欧洲大部分地区。

3）压制地面防空兵器

压制地面防空兵器的手段主要是电子干扰和空中火力压制。地面防空武器系统是指专门对付各种飞机、弹道导弹、巡航导弹的地对空导弹和高射炮。因为当今的地对空导弹已经具有高、中、低空和远、中、近程作战能力，有效作战高度可从 15 米到 4.5 万米，有效射程可从 0.5 千米到 250 千米的空域。先进的导弹不仅作战空域大，而且命中精度高。这类导弹对飞机构成了极大威胁，如果不及早摧毁，就无法取得空中优势，也就掌握不了制空权。

4）掌握制电磁权

由于科学技术的不断发展，武器装备的更新换代，信息战、电子战、预警和侦察卫星、侦察机、无人机、地面防空导弹、通信技术、导航技术、计算机技术、电子侦察技术、自动化指挥控制技术等将直接影响到制空权的争



对飞机威胁极大的美国 MIM-104“爱国者”地对空导弹

夺。近年来的局部战争已经清楚地表明，如果没有掌握制电磁权，没有早期的电子侦察和干扰，就不可能赢得制空权。

5）突击航空工业体系和飞行训练基地

这种方法不能在短时间内改变空中力量对比，对战役、战斗也不产生直接影响，但可以通过有计划的空中进攻，使敌方航空工业无法生产飞机，训练基地不能提供合格飞行员，从根本上削弱其战争潜力，是夺取战略制空权的重要方法。


海湾战争中的美军 F-15 和 F-16 战斗机



NO.2 “空中优势”作战思想实现较难的原因是什么？

“空中优势”是一种总体的作战思想，其指导思路是尽量摧毁敌方空军的兵力，令敌不能或不敢继续起飞拦截。这包括多种含义，具体到轰炸机、攻击机的研发思路，就是要求长航程、大载弹量；在战斗机的设计思路上，就是要求优异的空战性能和超远航程。二战中美国的 P-51“野马”战斗机，就是这种思路的产物。

“空中优势”听上去高大上，却不是每个国家都玩得起的。以二战为例，当时的历史条件下，制造像 P-51 这样的战斗机，搭配 B-17“飞行堡垒”和



B-29“超级空中堡垒”等重型轰炸机群千里奔袭，势必要求一个国家在发动机、材料、空气动力学等领域都达到世界的领先水平。此外，财力、资源也要能承担大批量高性能战机的制造。当时，只有美国具备这样的国力。



著名的美国 P-51“野马”战斗机



美国 B-29“超级空中堡垒”轰炸机

二战后，尽管苏联已成为能与美国比肩的另一超级大国，但其国力一段时间内无法与美国相比，在空中力量上还处于弱势，只好秉承国土防空的理念。因此，在冷战前期，苏联空军重视为前线提供近距离支援的攻击机和领空防空的截击机研发。从米格 -19“农夫”到米格 -21“鱼窝”再到米格 -31“捕狐犬”，无一不贯彻着截击机的设计理念。

越战中，米格 -21 更是把截击理念发挥得淋漓尽致。当时的越南空军利用地面的远程预警雷达，一旦发现美国空军的动向，就利用米格 -21 高速绕到美机后方发射空对空导弹实施“打了就跑”的偷袭战术，且屡屡得手。



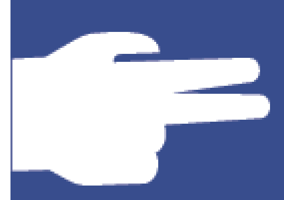
罗马尼亚空军装备的米格 -21 战 . 斗机

到了 20 世纪 70 年代，苏联国力已迅速接近美国，便利用美国战略收缩之际，采取战略进攻的态势。美苏此消彼长，苏联空军也逐渐开始实践“空中优势”理论。当时，苏联空军被赋予的任务是，不仅要保证国土防空，也要拥有对美国及其北约盟国进行空中打击的能力。因此，战斗机要能掩护苏 -24“击剑手”战斗轰炸机、图 -22M“逆火”和图 -160“熊”中远程轰炸机进行纵深的战术、战略轰炸。正是在这种背景下，著名的苏 -27“侧卫”系列应运而生，成为苏联首次应用“空中优势”的理念设计的新型现代战斗机。





苏 -27“侧卫”空中优势战斗机



NO.3　现代空战对战斗机有哪些性能要求?

空对空导弹逐渐成熟，对飞机载体也带来深远的影响。其中，超视距空战和近距离空战对导弹载体战斗机要求也各不相同。

（1）外界信息获取能力。超视距空战首重信息，所以超视距空战要求战斗机本身应具有良好的从外界获取信息的能力。目前，最具实用性的当属数据链。作战飞机用战术数据链联系起来，数架战斗机能共享战术情报，从而使传统的空军单机和编队战术发生根本性变革。一般来说，战术数据链能同时在 4 架作战飞机上进行双向联系，其有效作用范围可达 500 千米，且抗干扰能力极强。

拥有数据链的战斗机，可产生多种战术运用，其代表战术是静默攻击，比如当目标飞机意识到被锁定并处于对方的导弹射程之内，会进行蛇形机动等战术动作，避免被锁定，但它并没有意识到在其他方向上还有其他作战飞机同时锁定它，其他飞机可通过那架发现目标的飞机所提供的信息实施导弹攻击，不需要所有编队飞机一起开机搜索，在歼灭敌机的同时保存了自己。使用数据链还可以更好地跟踪目标，可以把分散编队各飞机的雷达联

系起来，从而确定目标位置并对目标进行跟踪。而信息获取能力除了飞机本身性能以外，还需要构建空战系统，使战斗机能够从大系统中获取空情信息。

（2）隐身能力。在获取信息的同时，也要防止己方的信息被敌人所获取，这称为信息防护。而发展隐身战斗机就是通过减少战斗机各种物理特征值，减少被敌方传感器探测的可能，防止己方的信息被敌人所获取。就技术发展来看，目前战斗机的隐身能力是有限的，只能减小某种传感器的探测距离。但是即使这种极为有限的能力，哪怕是“准隐身”，也能够减少被敌机雷达发现的距离。



俄罗斯苏 -57 战斗机具有出色的隐身能力

（3）高速度。“速度就是生命”这句话贯穿于整个空战史，传统机炮空战如此，导弹空战时代更是如此。在超视距空战中持续维持一个较高的速度，可以大大增强战斗机在超视距空战中的战斗力与生存力。首先，高速度可以增加空对空导弹的射程。据相关资料表明，美国 F-22“猛禽”战斗机以 1.5 马赫进行超音速巡航发射 AIM-120 导弹，可使导弹射程提高 50%。其次，维持一个较高的速度，可以更容易突破敌机的防空网。当被敌机雷达锁定时，也可迅速脱离战区。

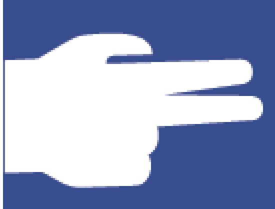



美国 F-22“猛禽”战斗机准备起飞

（4）机载武器性能。仿真结果表明：战斗机的空战效能与机载武器性能的4次方成正比，一些发达国家采取了“一代平台，几代武器”的发展策略，通过尽快改善空对空导弹性能，来提高飞机武器系统的作战效能。而现代战斗机，雷达电子设备占全机整体价值的比重越来越大。


德国空军装备的米格 -29 战斗机发射导弹

（5）被动获取信息。在未来空战中，被动获取信息的能力至关重要。因为贸然打开雷达，很容易引起敌机的警觉。所以，加强被动获取信息的能力是必要的。无源被动雷达在发现目标和消灭入侵目标方面，比单纯提高常规雷达系统的指标更为有效。在被动雷达下，将不是先敌发现，先敌发射取胜。相反，谁的雷达先开机，谁就会遭到攻击，因此，雷达作用距离远的飞机实际上不敢早开机。



NO.4　战略轰炸和战术轰炸有何区别？

轰炸，指从航空器上对地面、水面或水下目标投放航空炸弹、鱼雷、深水炸弹或发射空对地导弹的战斗行动。它是航空兵从空中消灭敌方地面有生力量，摧毁技术兵器和其他重要目标的重要手段。按照攻击的目的，轰炸分为战略轰炸和战术轰炸两大类。有人认为，战略轰炸和战术轰炸都是倾泻大量的炸弹，两者并没有太大的差别。其实不然，战略轰炸和战术轰炸有着明显的区别。

战略轰炸

战略轰炸，不仅是袭击军事目标，即军队、军事基地、军事设施等，而且对后方的生产设施、交通枢纽，甚至包括一般居民区，也都进行彻底的攻击，其目的是为了全部摧毁对方国家进行战争的能力，使敌国政府和国民丧



二战时期英国的“兰开斯特”战略轰炸机



失继续进行战争的意志。因此，战略轰炸必然是“狂轰滥炸”，通常情况下，非战斗人员必然遭受极其严重的伤害。

二战中，以英国、美国为首的盟国空军对德国本土及其占领区实施的历时 5 年的战略轰炸，是军事史上迄今规模最大、时间最长的空中进攻作战。从 1940 年 5 月 15 日到 1945 年 4 月 16 日长达 4 年的时间里，英美战略轰炸学派为实践其理论，出动 400 万架次的飞机，以损失 1% 的代价，对德国控制的欧洲大陆投弹 270 万吨，摧毁德国作战飞机 5.5 万架，造成德国 100 万居民死亡，750 万人无家可归，德国的战争机器严重失血，公路运输瘫痪 90%。

据战后英、美的调查，1944 年 6 月以前的轰炸，对德国工业生产影响不大；同年下半年，由于轰炸造成巨大破坏，加上德军地面作战失败，占领区缩小，工业生产开始迅速下降，经济濒于崩溃。事实表明，战略轰炸与地面军队的作战行动相结合，能对战争的进程和结局产生巨大影响。

战术轰炸

所谓战术轰炸，主要是在战场上打击敌人某些高价值目标，以达到瘫痪或暂时瘫痪目标的某一部分能力和功能的目的。一般来说，战术轰炸是以军队和军事设施为目标，进行有限轰炸，而不是不加区别地轰炸一般市民的住宅地区。



美国 F-111“土豚”战斗轰炸机



战术轰炸始于一战，当时飞行员向敌方阵地投掷小型炸弹。在二战之前，发展出了一些特殊的军用飞机来执行此任务，但经常使用的是攻击机和战斗轰炸机。二战期间，日本于 1941 年 12 月 8 日对珍珠港发动的袭击，就是典型的战术轰炸。

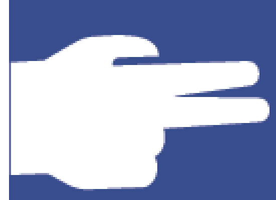
战术轰炸主要有两种作用：一是提供近距离空中火力支援，直接支持地面行动；二是进行火力封锁，这时所攻击的目标并没有和友军接触。

总而言之，战术轰炸主要是着眼于和前线作战直接相关的目标，战略轰炸则是为了伤害国家发动与维持战争进行的能力。


美国 B-2“幽灵”战略轰炸机


俄罗斯图 -160“海盗旗”战略轰炸机





NO.5　无人战斗机投入实用化的技术瓶颈是什么？

目前，随着自动化控制技术的不断发展，无人机在军用领域已经呈现出了爆炸性增长的趋势，越来越多的无人机逐渐替代有人机用于执行各种高危险的作战任务，比如预警侦察、对地打击、战场巡逻、伪装诱饵，等等。不过，专门负责空战的无人战斗机到目前为止依然处于一片空白的状态。在理论上使用无人战斗机进行空战，有着有人战斗机所无法企及的诸多优势，比如不用担心人员损失、无须考虑飞行员过载承受能力、充分利用有效载荷，等等。

事实上，让无人机具备空战能力在技术上也并不存在什么难以逾越的门槛，比如美军的 MQ-1“捕食者”无人机就可以携带“毒刺”空对空导弹攻击空中目标，当然主要目的是为了自卫而不是夺取制空权。在 2002 年还爆发了一场人类军事史上首次无人机参与的空战，当时美军的“捕食者”无人机正在伊拉克境内执行任务，不料突然与伊军的米格 -25“狐蝠”战斗机狭路相逢，“捕食者”无人机抢先发射“毒刺”空对空导弹却未能命中目标，结果不幸惨遭米格 -25 战斗机轻松反杀，无人机的首次空战就这样以失败告终。

“捕食者”无人机之所以落败，是因为它只是一款比较低端的侦察攻击一体化无人机，不仅飞行速度慢、飞行高度低，也没有任何干扰敌方空对空导弹的电子对抗手段，碰上飞行性能出色、机载设备齐全的有人战斗机自然是不堪一击，但不能由此说明无人机空战是没有发展前途的。其实现代空战的所有环节，包括目标探测、敌我识别、跟踪锁定、导弹发射、电子对抗，等等，都可以通过对无人战斗机进行遥控指挥的方式来完成，无非就是把飞



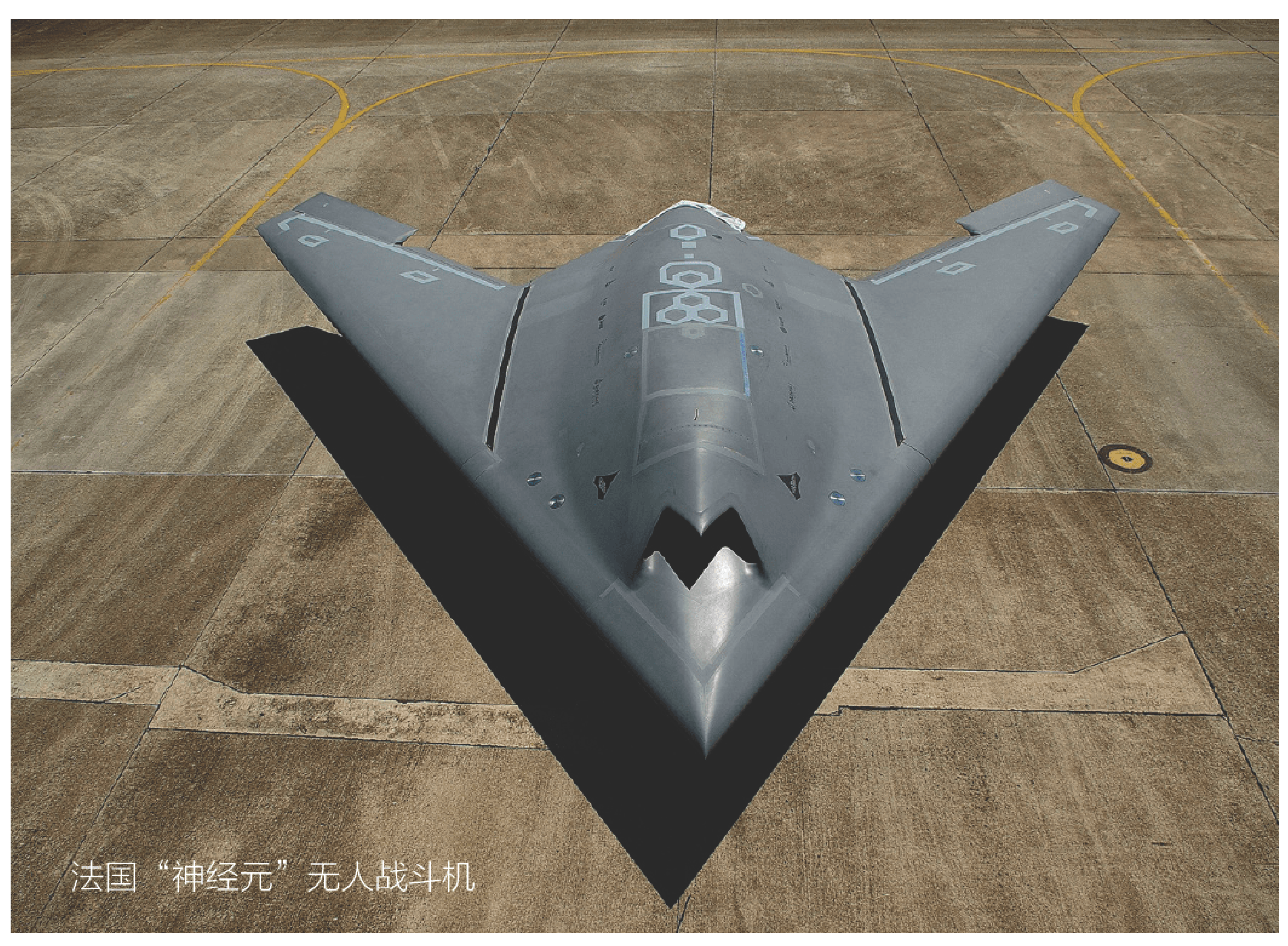
美国“复仇者”无人战斗机

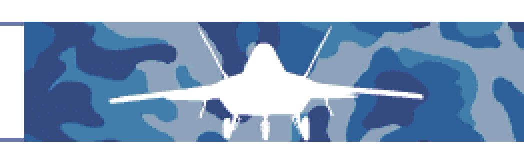
行员从战斗机座舱搬到了地面的控制室而已。

真正制约无人战斗机投入实用化的技术瓶颈在于，如何在电磁环境错综复杂的战场上将海量的数据信息即时可靠地在相隔千里的无人战斗机和地面控制中心之间互相传输，一旦遭到电子干扰或者黑客入侵，导致无人战斗机失联甚至被敌方控制，后果都是不堪设想的。

目前，解决这一问题的主要方式有两种：一是提高无人战斗机的人工智能水平，尽可能减少人为干预，降低发生信息安全事故的概率，这方面美国已经取得了重大突破，在模拟空战中使用人工智能系统打败了经验丰富的人类飞行员；二是探索有人战斗机就近引导无人战斗机实施集群作战的模式，比如在美军规划的网络中心战体系当中，F-35“闪电Ⅱ”战斗机就担负着作为战区无人机指挥节点的重任。


英国“雷神”无人战斗机


法国“神经元”无人战斗机




德国和西班牙联合研制的“梭鱼”无人战斗机

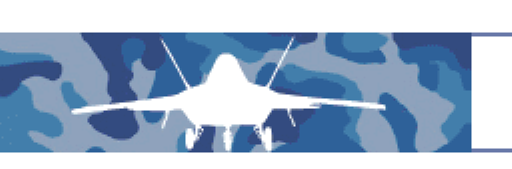


NO.6 制天权理论与制空权理论有何关联？

所谓制天权（command of the space power），是指交战一方在一定时间内对一定范围外层空间的天疆控制权。制天权的概念及理论是在意大利军事理论家朱里奥·杜黑的制空权思想和理论的影响下，随着人类航天技术和航天活动的出现与发展而逐步形成的。

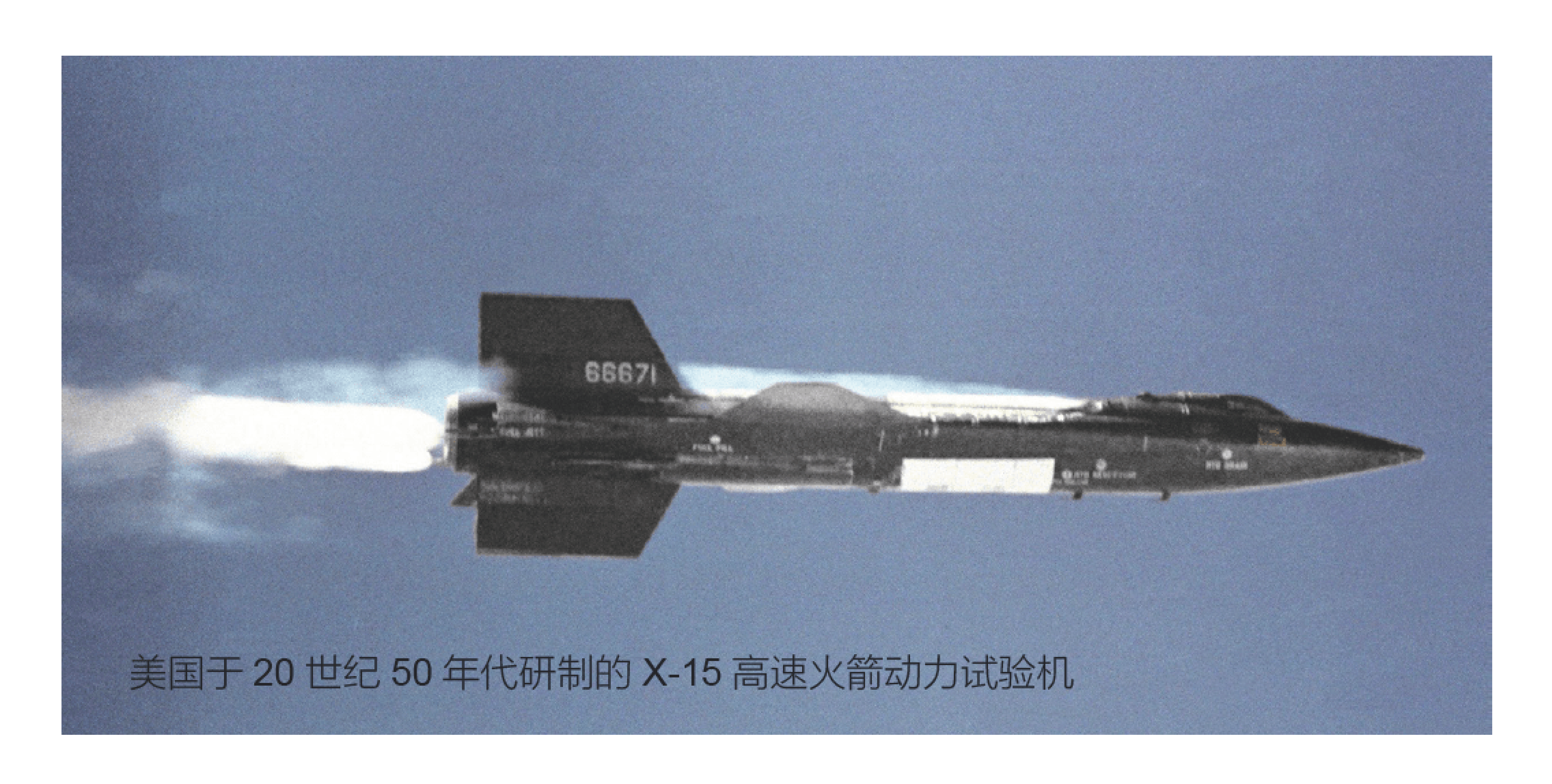
早在 20 世纪 50 年代后期，当苏联率先成功发射人类第一颗人造地球卫星时，许多人就开始意识到外层空间将成为一种新型战争。20 世纪 60 年代初期，美国总统肯尼迪公开宣称：“谁能控制太空，谁就能控制地球。”这是较早的制天权思想。虽然人类的军事航天活动已经走过数十年的历程，但是人类还不具备争夺制天权的能力，制天权还处于军事理论研究阶段，真正意义上的争夺制天权实践活动还没有成为战争现实。当太空进攻和防御技术取得突破性进展，太空进攻和防御武器开始大量生产与部署时，争夺制天权才可能真正走上战争舞台。


美国总统肯尼迪会见美国国家航空航天局高层



制天权对未来战争全局具有重大主导作用。一方面，未来的太空军事力量“天军”，将是人类高智能、高技术的集合体，在未来武装力量中占据首要地位。另一方面，太空战场极其广阔深远，它全面包容覆盖传统的陆海空战场，具有“居高临下”的空间优势。“天军”一旦控制了太空战场，就能凭借其高智能、高技术和高空间优势，全面瞰制陆海空战场。制天权将主导制空权、制海权和制电磁权，会直接影响战争的进程与结局。争夺制天权的主要手段是各种部署在太空以及地面、空中、海上的太空进攻性与防御性武器系统。

二战以后至20世纪80年代初，美、苏之间的军备竞赛已经从陆地、海洋、空中扩展到外层空间。1983年3月，美国总统里根正式对外公布了“高边疆战略论”。所谓“高边疆战略论”就是关于美国未来在军事、经济和科学诸方面综合开发和利用宇宙空间的总体空间战略理论。它的核心思想是：建立空间武器系统，即所谓“星球大战”计划（又称战略防御计划），建立多层次、大纵深防御体系，把太空辟为除海、陆、空之外的第四战略领域，以取得对苏联的军事战略优势。



美国于20世纪50年代研制的X-15高速火箭动力试验机

针对美国咄咄逼人的高边疆战略，苏联积极采取对策，努力发展能够突破美国战略防御系统的进攻性战略武器系统，并着手研制自己的战略防御系统。美、苏在太空领域的争夺以及其他军事强国的迅速跟进使外层空间很快成为陆、海、空战场之外的第四战场。航天技术广泛应用于军事领域，导致军用卫星和天战兵器的大发展。对外层空间的争夺导致有关制空权的斗争向外层空间拓展。



近几场高技术局部战争表明，运转于外层空间的具有军事功能的航天器，如航天侦察、预警、通信、导航卫星等，已经直接进入了战场的角逐，并对空中、地面、海上作战起到了支援保障作用，可以说对赢得战争的胜利产生了重要影响。

在未来战场上，要赢得战争，不仅要争夺制海权、制空权，而且要争夺制天权。美国航天司令部在其“2020年设想”中称：“今天的军事作战十分依赖于航天能力，在21世纪将更加依靠航天能力”；俄罗斯2000年制定的军事学说亦称：“未来战争将以天基为中心”，“制天权将成为争夺制空权和制海权的主要条件之一”。



苏联“东方”号轻型运载火箭



NO.7 信息化战争离不开制天权的原因是什么？

信息化战争要取得胜利，必须拥有制陆权、制空权、制海权、制天权和制信息权。其中制天权和制信息权是高技术战争制胜的基础，是夺取战场主动权的关键，而制信息权的取得又离不开制天权。可以说，获取制天权是打赢信息化战争的根本。

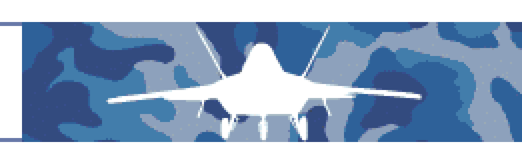
制天权的现实意义

20世纪人类鏖战的疆域限制在大气层内，谁夺取了制空权，就夺取了战争主动权。随着卫星、空间站、航天飞机等天基武器系统的相继诞生，航天军事大国竞相发展空天飞机、高功率激光武器、粒子束武器等新型天基武器。可以预言，由此引发的新型作战样式——“天战”“天空战”“天地战”等在21世纪将应运而生。未来作战行动将是以天基为中心的陆、海、空、天、电一体的联合作战。在这高度一体的联合作战中，任何一个领域只要战端一开，最先开动的都是太空支援作战系统。这一点在海湾战争和科索沃战争中

参加海湾战争的美国空军 F-15“鹰”式战斗机

已经初见端倪。科索沃战争之后，美俄军队的作战理论开始发生转折性变化，强调未来作战的主战场将集中在空中或空间。而阿富汗战争和伊拉克战争再次证明，制天权将对陆、海、空战场作战具有决定性作用。

未来战争中，制天权将构成战争主动权的主要部分，并强烈影响着战争的进程和结局。空间侦察、通信、导航和预警等将成为未来作战的主要作战保障方式。而随着太空攻击武器的发展应用，从太空直接攻击地球表面目标或拦截弹道导弹，将成为重要的作战手段。如利用空间作战飞行器、空间轨道轰炸器、弹道导弹等空间攻击性武器，从空间对陆地、海上、空中敌纵深内的重要目标实施火力打击，可瘫痪敌作战体系，削弱敌整体作战能力，最终达到加速战役进程的目的。可以说，在未来信息化战争中，制天权将发挥极为关键的作用。因此，在和平时期拥有制天权对于遏制战争和打赢战争将具有十分重要的现实意义，是国家威慑力量的重要组成部分，是制约战争发生、维护国家利益的重要手段。



美国海军 F-14“雄猫”战斗机飞过战场上空

制天权的主要作用

（1）制信息依赖于制天。未来信息化战争中，信息优势意味着机动优势、指挥优势、火力与兵力优势，因而敌对双方将围绕制信息权展开激烈争夺。要掌握制信息权，既要发展以信息技术为核心的高技术武器装备，也离不开对外层空间的有效控制。制天权日益成为信息化部队、信息化武器和打赢信息化战争的重要基础和前提。由于指挥控制系统在未来战争的重要作用，使得未来战争中的打击重心转向敌方 C4ISR 系统。而太空系统是 C4ISR 系统的重要支持系统，是 C4ISR 系统赖以运行的基础，因为无论是监视侦察、情报传递、目标定位，还是兵器导航、战果评估都要靠卫星的支持。可以说，制信息权依赖于制天权，制天权是制信息权的基础和保证。

实施信息战的基础是信息化战场。信息化战场的信息系统主要由通信联络、指挥控制、情报传输、计算机与战场数据库及各种用户终端构成战场综合网络体系。从信息化战场的基本构成看，哪一个分系统都离不开航天信息

资源的支持，可以说航天信息资源是信息化战场的重要基础和要素。海湾战争以美国为首的多国部队广泛运用军事航天力量，在太空中拥有绝对的主动权，对参战的陆、海、空力量进行实时和近实时的侦察、通信、气象和导航定位等支援和保障，对敌形成了信息压倒性优势，成为支持多国部队形成整体打击力量的关键因素，对战争结局起到了极其重要的作用，因而这次战争也被称为人类的首次空间战争。


正在与指挥中心通信的美军士兵

（2）联合作战需要制天权。航天技术和空间信息系统的不断发展使制天权对联合作战的支援保障作用越来越大，未来联合作战对空间战场的依赖也越来越强。

夺取制天权是实施联合作战的基础。随着空间信息系统的提高和完善，空间信息系统支援将成为战争形态发展的重要推动力。太空与陆地、海上和空中的军事行动将紧密联系在一起，一切作战目标和作战任务只有通过分布于陆、海、空、天战场的作战力量及其信息系统的联合行动才能顺利完成。因此，未来战争的联合作战范围更加广阔，内涵更加丰富。“陆、海、空、天一体战”将取代空地一体战成为联合作战的新样式。

制天权对联合作战的指挥控制具有决定作用。陆、海、空、天战场上的联合作战行动将越来越依赖空间信息系统的支援和保障：通信卫星可以使相距上万千米的诸军兵种及时互通信息，密切协同；侦察卫星可以为战场指挥员提供及时、准确的战场情况，为制订作战方案发挥重大作用；测地卫星可以为导弹、飞机提供精确的目标位置；导航定位卫星可以为地面军队、海上舰队、水下潜艇、空中飞机、导弹等进行精确定位；预警卫星可以提前发现来袭导弹和飞机，并及时发出预警信号，等等。可以说，在现代高技术联合战役中，如果没有军事航天器获取情报和传输信息，战场指挥员就难以对瞬息万变的战争作出正确的决策，并实施有效的作战指挥。现代联合战役已离不开空间信息系统的支持，谁控制了太空，谁就拥有空间信息优势，谁就能在战争中拥有主动权。

夺取制天权将成为联合作战争夺的新焦点。夺取空间信息优势和控制外层空间，是未来联合战役取胜的关键。以卫星为主体的空间军事系统将是一



体化全球感知、全球交战系统的核心，全球卫星导航定位系统将成为未来精确指挥控制、中远程精确打击和精确兵力投送的关键装备。美军非常重视夺取空间信息优势和控制外层空间。在“沙漠风暴”之后的历次军事行动中，军用航天信息系统都起到了重要作用。空间战场由支援保障作用转向实战，使得未来联合战役呈现出陆、海、空、天一体的发展趋势。由于空间设施的重要性和固有的脆弱性，空间设施必将成为未来敌对双方攻防的重要目标。可以预见，随着各种空间攻防武器装备的部署和天军的建立，对空间的争夺将越来越激烈，空间将成为未来联合作战的主战场。

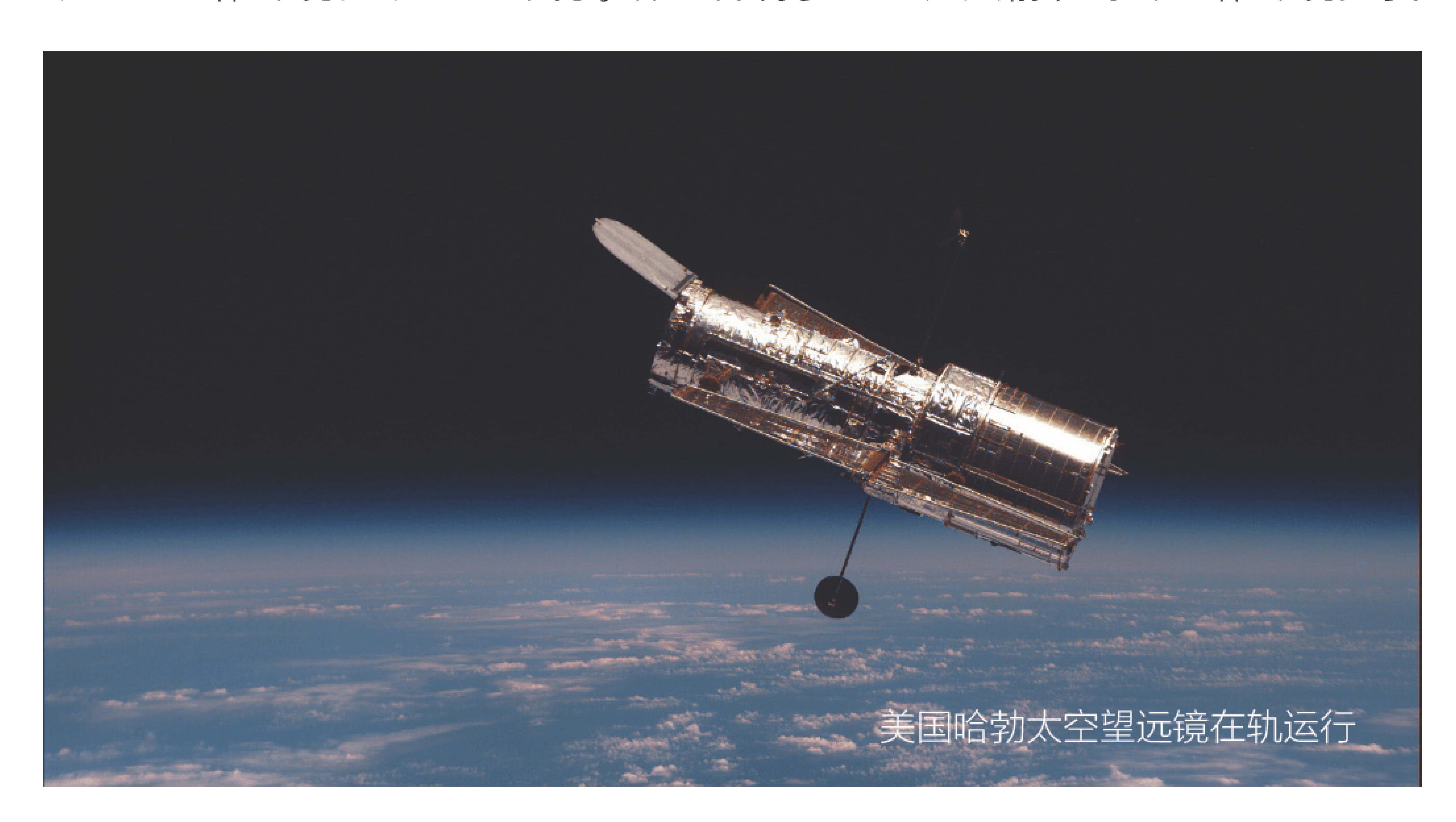


NO.8 航天器与航空器相比有何特点？

与一般在平流层上部和对流层飞行的航空器相比，航天器在运动方式、环境与可靠性、控制和系统技术等方面都有显著的特点。

航天器大多不携带飞行动力装置，在极高真空的宇宙空间靠惯性自由飞行。航天器的运动速度超过 8 千米 / 秒，这个速度是由航天运载器提供的。航天器的轨道是事先按照航天任务来选择和设计的。有些航天器带有动力装置用以变轨或轨道保持。

航天器由航天运载器发射送入宇宙空间，长期处在高真空、强辐射、失重的环境中，有的还要返回地球或在其他天体上着陆，经历各种复杂环境。航天器工作环境比航空器环境条件恶劣得多，也比火箭和导弹工作环境更复


美国哈勃太空望远镜在轨运行


美国“凤凰”号火星探测器着陆示意图

杂。发射航天器需要由比自身重几十倍到上百倍的航天运载器，航天器入轨后，需要正常工作几个月、几年甚至十几年。因此，重量轻、体积小、高可靠、长寿命和承受复杂环境条件的能力是航天器材料、器件和设备的基本要求，也是航天器设计的基本原则之一。对于载人航天器，可靠性要求更为突出。

绝大多数航天器为无人飞行器，各系统的工作要依靠地面遥控或自动控制。航天员对载人航天器各系统的工作能够参与监视和控制，但是仍然要依赖于地面指挥和控制。航天器控制主要是借助地面和航天器上的无线电测控系统配合完成的。航天器工作的安排、监测和控制通常由航天测控和数据采集网或用户台站（网）的中心站的工作人员实施。随着航天器计算机系统功能的增强，航天器自动控制能力在不断提高。

航天器运动和环境的特殊性以及飞行任务的多样性使得它在系统组成和技术方面有许多显著特点。航天器的电源不仅要求寿命长，比能量大，而且还要功率大，从几十瓦到几千瓦。它使用的太阳电池阵电源系统、燃料电池和核电源系统都比较复杂，涉及半导体和核能等多项技术。

航天器轨道控制和姿态控制系统不仅采用了很多特有的敏感器、推力器和控制执行机构以及数字计算装置等，而且应用了现代控制论的新方法，形成多变量的反馈控制系统。

航天器结构、热控制、无线电测控、返回着陆、生命保障等系统以及多种专用系统都采用了许多特殊材料、器件和设备，涉及众多科学技术领域。



航天器的正常工作不仅决定于航天器上各系统的协调配合，而且还与整个航天系统各部分的协调配合有密切关系。航天器以及更复杂的航天系统的研制和管理，都需依靠系统工程的理论和方法。



苏联安 -225 运输机背负“暴风雪”号航天飞机



俄罗斯发射“联盟”号宇宙飞船



NO.9　航天器主要由哪些系统组成？

航天器由不同功能的若干分系统（或系统）组成，一般分为专用系统和保障系统两类。专用系统又称有效载荷，用于直接执行特定的航天任务；保障系统又称通用载荷，用于保障专用系统正常工作。

不同用途的航天器的主要区别在于装有不同的专用系统。专用系统的种类很多，随航天器执行的任务不同而异。例如，天文卫星的天文望远镜、光谱仪和粒子探测器，侦察卫星的可见光照相机、电视摄像机或无线电侦察接收机，通信卫星的转发器和通信天线，导航卫星的双频发射机、高精度振荡器或原子钟等。单一用途的航天器装有一种类型的专用系统，多用途航天器装有几种类型的专用系统。

各种类型航天器的保障系统往往是相同或类似的，一般包括以下系统。

结构系统

结构系统用于支承和固定航天器上的各种仪器设备，使它们构成一个整体，以承受地面运输、航天运载器发射和空间运行时的各种力学和空间环境。结构形式主要有整体结构、密封舱结构、公用舱结构、载荷舱结构和展开结构等。航天器的结构大多采用铝、镁、钛等轻合金和增强纤维复合材料。

热控制系统

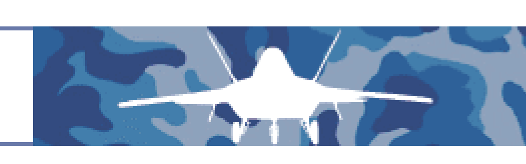
热控制系统又称温度控制系统，用来保障各种仪器设备在复杂的环境中处于允许的温度范围内。航天器热控制的措施主要有表面处理（抛光、镀金或喷刷涂料），包覆多层隔热材料，使用热控百叶窗、热管和电加热器等。

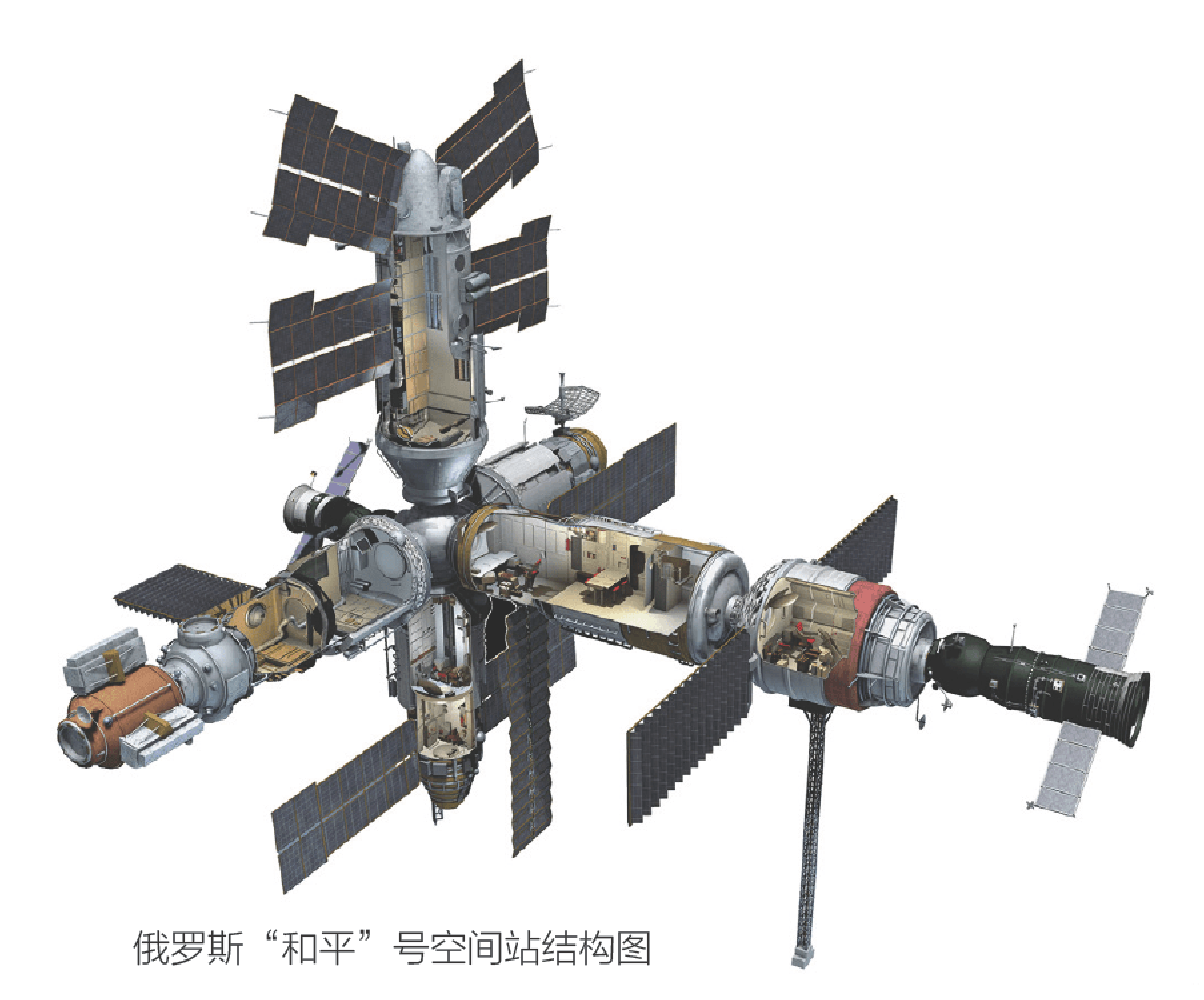
电源系统

电源系统用来为航天器所有仪器设备提供所需的电能。人造卫星大多



俄罗斯“联盟”号宇宙飞船的航天员正在进行模拟训练




俄罗斯“和平”号空间站结构图

采用蓄电池电源和太阳电池阵电源系统，空间探测器采用太阳电池阵电源系统或空间核电源，载人航天器大多采用氢氧燃料电池或太阳电池阵电源系统。

姿态控制系统

姿态控制系统用来保持或改变航天器的运行姿态。航天器一般都需要姿态控制，例如使侦察卫星的可见光照相机镜头对准地面，使通信卫星的天线指向地球上某一区域等。常用的姿态控制方式有三轴姿态控制、自旋稳定、重力梯度稳定和磁力矩控制等。

轨道控制系统

轨道控制系统用来保持或改变航天器的运行轨道。航天器轨道控制以轨道机动发动机提供动力，由程序控制装置控制或地面航天测控站遥控。轨道控制往往与姿态控制配合，它们构成航天器控制系统。

无线电测控系统

无线电测控系统包括无线电跟踪、遥测和遥控 3 个部分。跟踪部分主要有信标机和应答机。它们不断发出信号，以便地面测控站跟踪航天器并测量其轨道。遥测部分主要由传感器、调制器和发射机组成，用于测量并向地面发送航天器的各种仪器设备的工程参数（工作电压、温度等）和其他参数（探测仪器测量到的环境数据、敏感器测量到的航天器姿态数据等）。遥控部分一般由接收机和译码器组成，用于接收地面测控站发来的遥控指令，传送给

有关系统执行。

返回着陆系统

返回着陆系统用于保障返回型航天器安全、准确地返回地面。它一般由制动火箭、降落伞、着陆装置、标位装置和控制装置等组成。在月球或其他行星上着陆的航天器配有着陆系统，其功能和组成与返回型航天器着陆系统类似。

生命保障系统

生命保障系统用于维持航天员正常生活所必需的设备和条件，一般包括温度湿度调节、供水供氧、空气净化和成分检测、废物排除和封存、食品保管和制作、水的再生等设备。

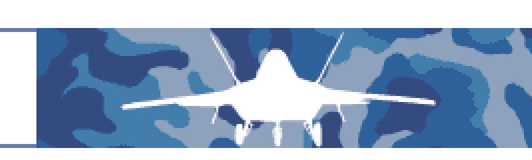
应急救生系统

应急救生系统当航天员在任一飞行阶段发生意外时，用以保证航天员安全返回地面。它一般包括救生塔、弹射座椅、分离座舱等救生设备。它们都有独立的控制、生命保障、防热和返回着陆等系统。

计算机系统

计算机系统用于存储各种程序、进行信息处理和协调管理航天器各系统工作。例如，对地面遥控指令进行存储、译码和分配，对遥测数据作预处理和数据压缩，对航天器姿态和轨道测量参数进行坐标转换、轨道参数计算和数字滤波等。航天器计算机有单机、双机和多机系统。


美国“发现”号航天飞机俯视图



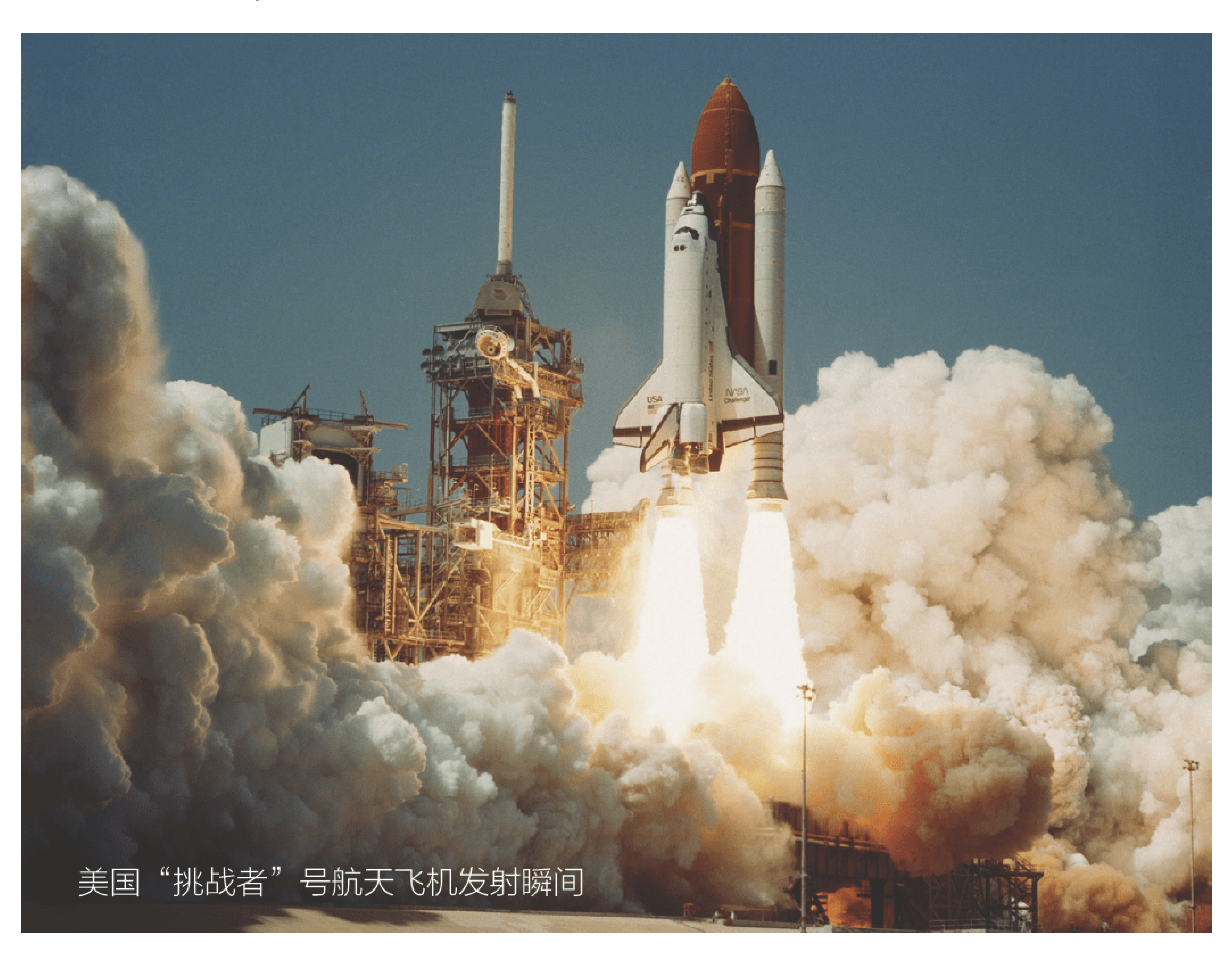


NO.10　载人航天需要克服哪些技术难题？

载人航天是人类驾驶和乘坐载人航天器在太空中从事各种探测、研究、试验、生产和军事应用的往返飞行活动。其目的在于突破地球大气的屏障和克服地球引力，把人类的活动范围从陆地、海洋和大气层扩展到太空，更广泛和更深入地认识整个宇宙，并充分利用太空和载人航天器的特殊环境进行各种研究和试验活动，开发太空极其丰富的资源。

载人航天是集国家政治、军事、科技实力为一体的高难度系统工程。要真正把人送入太空乃至使人长时期在太空生活，必须突破三大技术难题。

（1）研制出推力足够大、可靠性极好的运载工具。苏联发射“东方”号、“上升”号、“联盟”号等载人飞船的运载火箭都是运载能力 5 吨以上，而且在发射中极少发生事故的优秀运载工具。为了确保发射时万无一失，运载火箭及飞船的关键部件必须是双备份或三备份，火箭、飞船在上天前，必须经过一系列极严格的地面测试和模拟飞行，直到没有一丝隐患才能放行上天。由于对可靠性的重视，与航海、航空及陆上各种交通运输工具比较，航天器的活动有着最好的安全记录。



美国“挑战者”号航天飞机发射瞬间

（2）获得空间环境对人体影响的足够信息，了解人体所能承受的极限条件并找到防护措施。空间环境与陆地环境有着天壤之别。太空中高度真空，没有氧气没有水，如果没有任何保护，人体暴露在这样的环境里，用不了一分钟，就会由于身体内外的巨大压差而爆炸，体液会迅速沸腾汽化。太空中温差极大，由于没有空气对流，航天器朝阳面温度可达 100℃以上，而背阴面则会在－100℃以下，在远离地球的深空中，温度则达到人体根本无法耐受的－273℃。同时太空中还充满了有害的宇宙辐射。

另外，太空失重环境，特别是飞船上升、返回阶段的加速度和减速度会使人体发生平衡功能紊乱、体内组织位移、肌肉萎缩、骨质脱钙等病变。要在这种环境里保证人类的生存，就必须研制出密封的防辐射飞船，飞船中要配备能供人正常生活的空气、水、温度等基本生命保障条件。同时还要为航天员装备上航天服，一旦航天员要走出飞船座舱到太空中工作，所有的生命保障系统便全由航天服提供。在载人航天实践中，苏 / 俄研制出了“东方”号、“上升”号、“联盟”号三代载人飞船，美国也成功使用了“水星”号、“双子星座”号和“阿波罗”号三代载人飞船以及航天飞机。

（3）可靠的救生技术及安全返回技术。载人航天与不载人航天最大的区别就在于救生技术的应用和安全返回的绝对可靠。载人航天的救生装置有弹射座椅、逃逸塔、分离座舱和载人机动装置等。它们在飞行的不同高度发挥各自的作用。一般来说，飞行高度在 10 千米左右时，航天员可以采用弹射座椅的方式弹出发生危险的航天器，跳伞救生。当然，也可以启动逃逸塔，让逃逸塔拉着飞船甩掉出毛病的火箭另行降落救生。如果火箭在高空发生问题，航天员跳伞不行了，逃逸塔已按飞行程序抛掉了，则只有采取分离飞船



英国航天员海伦·沙曼返回地球



美国“双子星座”号宇宙飞船内的航天员



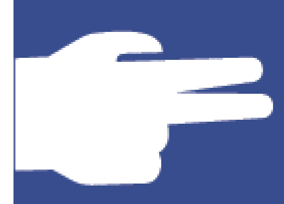
座舱的办法，让飞船座舱自己返回救生。飞船入轨后，一旦自身遭到损坏或航天员生病，需要营救时，那么只有暂时采用船上救生装置等待地面发射飞船救生的办法。

飞船的安全返回也不容易，它需要启动反推火箭减速、调姿、进入返回轨道等技术，还要闯过三道难关：一是过载关，飞船高速进入稠密大气层时会产生巨大的冲击过载，就像飞机撞山一般；二是火焰关，飞船返回与空气的剧烈摩擦会产生几千度的高温，没有防护，钢铁也会化为灰烬；三是撞击关，飞船降落尽管有降落伞，但它的降落速度仍达 14 米 / 秒，必须采取缓冲措施。

此外，落点的精度也是一大难题，苏联的一艘飞船返回时出现落点偏差，结果营救人员找不到航天员，被困在冰天雪地里的航天员差点冻死。



俄罗斯“联盟”号宇宙飞船返回地面



NO.11 载人航天器主要有哪些类型?

经过几十年的发展，人类现已经研制出宇宙飞船、航天飞机和空间站 3 种载人航天器。它们各有所长，相互补充，目前都活跃在载人航天的第一线。

按运行轨道它们又可分为两类，载人飞船和航天飞机属于一类，主要用于接送航天员和货物，且在太空飞行时间一般不超过 20 天，所以又称为天地往返运输器；空间站属于另一类，它可在太空长期运行，不返回地面，主要用于空间科学研究、太空生产、观天看地和在轨服务等。

在 3 种载人航天器中，载人飞船技术最简单、费用最便宜、在轨飞行时间最短，成为首先用于突破载人航天的基本技术。它是一种乘载航天员较少（3 人以下），能在太空短期运行（最多十几天），并可以使飞船返回舱沿弹道式或升力弹道式路径返回地面、垂直着陆的一次性使用无翼航天器。从飞行范围讲，载人飞船有近地轨道飞船、登月飞船和行星际飞船 3 种。

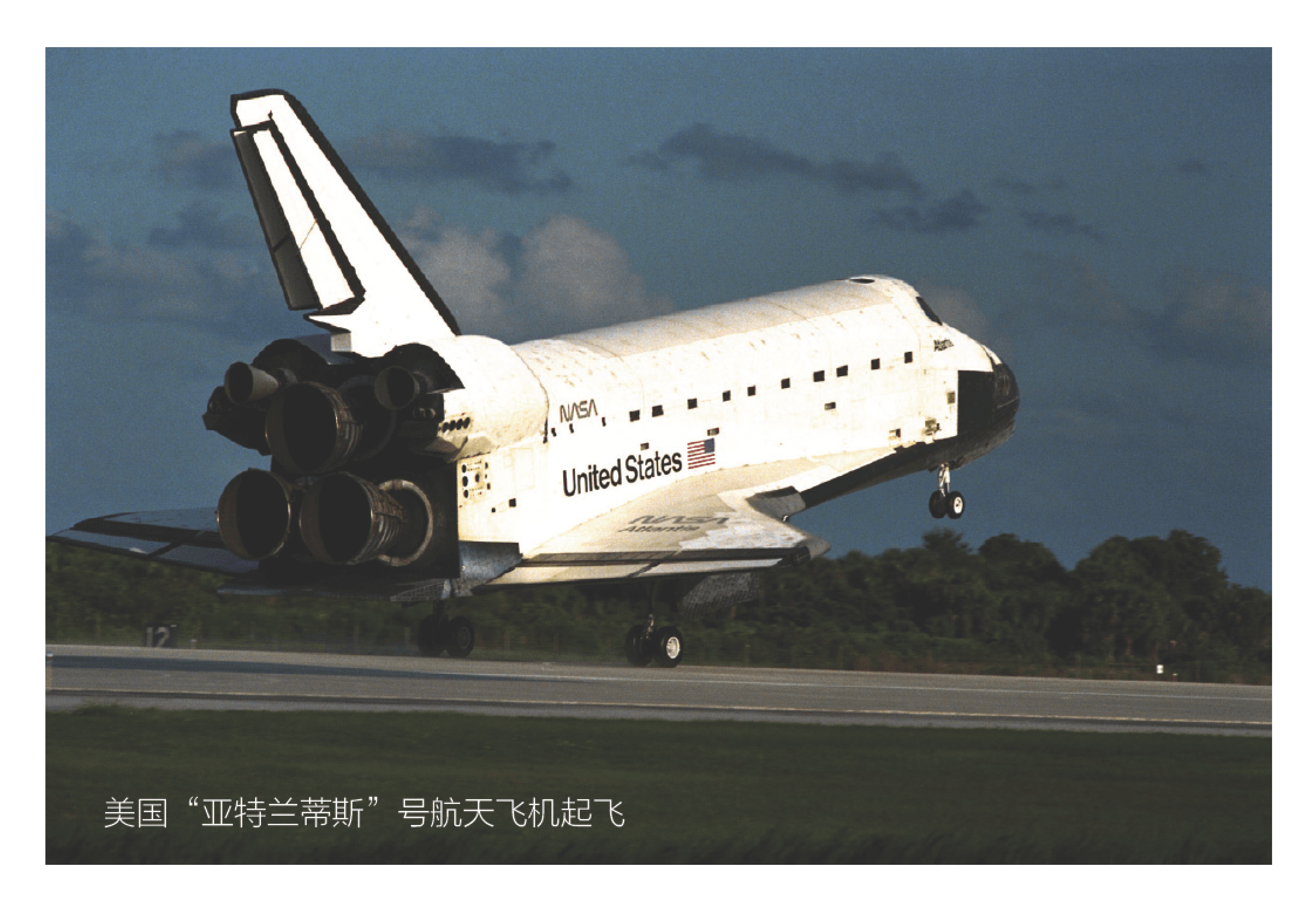
空间站是一种容积大、寿命长，且适于航天员在太空开展科研和试验以

及组装和维修的大型航天器。它在轨运行期间由载人飞船或航天飞机接送航天员、运送物资和设备。空间站分为单舱式空间站和多舱式空间站两大类，前者是指用运载火箭一次就能送入太空轨道运行的空间站，有试验型和实用型两种；后者则是由多个舱段在轨道上组装而成的空间站，有积木式构型和桁架式构型两种。

由于载人飞船太小，满足不了日益增大的空间站运输的需求，所以美国、苏联又研制了可部分重复使用、运输能力大大超过载人飞船的航天飞机。但只有美国的 5 架航天飞机先后投入实际应用（其中有 2 架已失事），每架航天飞机上天时可容纳 4 ～ 7 人，能把 20 ～ 30 吨货物带入太空，并运回 10 多吨货物。航天飞机以其特有的重复使用性、多用途性和良好的环境条件，为人类的航天活动开辟了全新的途径，但由于其使用成本高、风险大，所以已经全部退役。

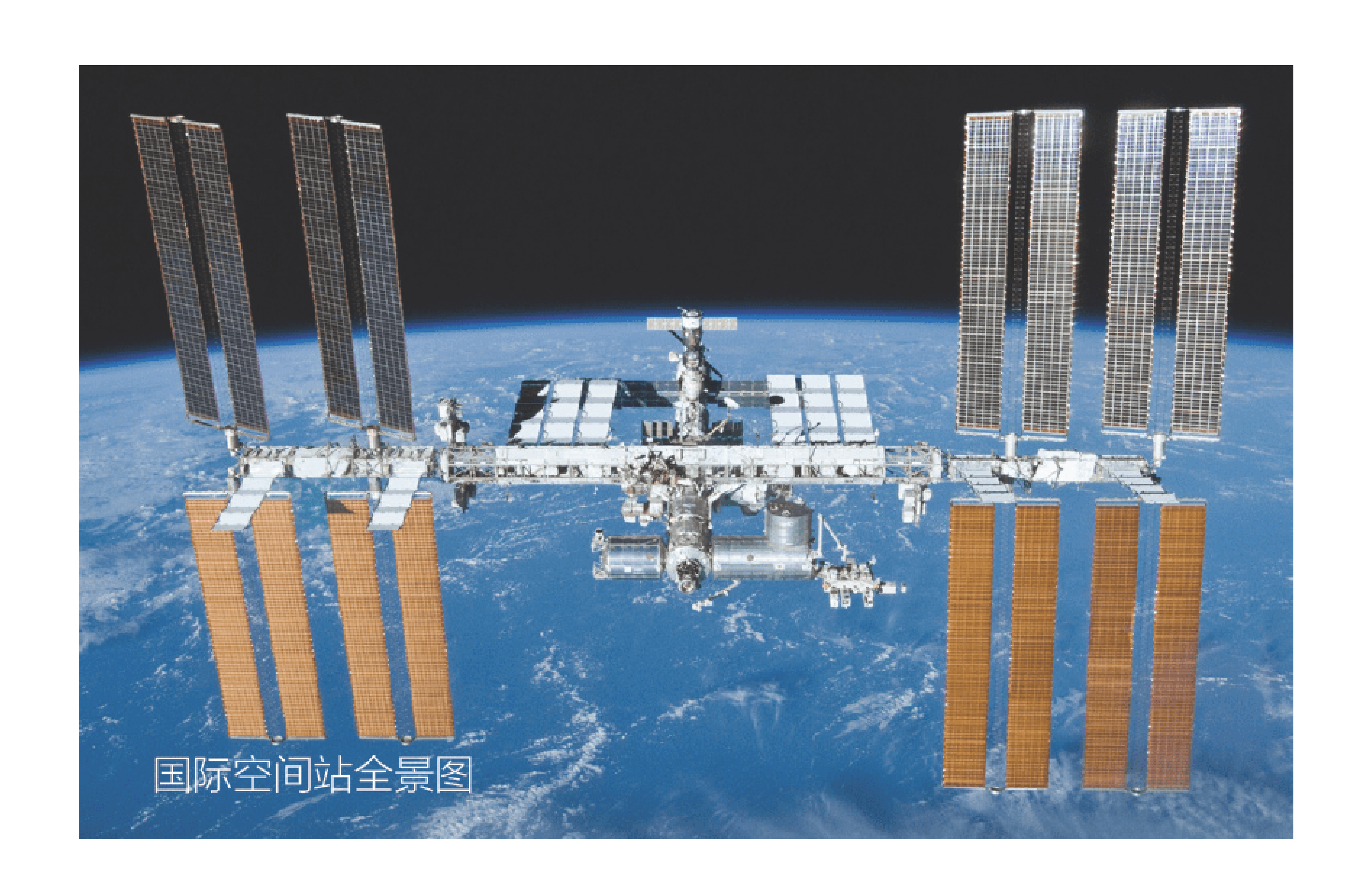


俄罗斯“联盟”号宇宙飞船全尺寸模型



美国“亚特兰蒂斯”号航天飞机起飞

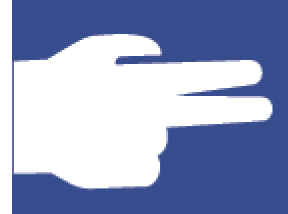




国际空间站全景图



降落在海上的美国“猎户座”宇宙飞船返回舱



NO.12　航天员穿戴的航天服有何特别之处?

航天服（Spacesuit）是保障航天员的生命活动和工作能力的个人密闭装备，根据航天员的活动范围和航天任务，航天服应当满足这样一些条件：能使位于太空的人体处于加压状态；能供给保障航天员生命安全所必需的氧气，消除二氧化碳，并能够控制温度和湿度；能使航天员在宇宙空间具有各种活动能力，并能使航天员的疲劳减轻到最低限度；穿戴和脱下方便；具有防护宇航射线辐射的能力；能经得起微流星的冲击；具有应付太空意外事故的能力。

航天服按其用途分主要有两种：一种是飞船内部穿用的航天服，这种航天服是在飞船座舱内使用的应急装置。当飞船发生故障时，它可以保护航天

员安全地返回地面。这种航天服一般比较轻便，在不加压时穿着比较舒适、灵活，因此有助于航天员在不加压状态下较长时间地穿着。另一种是航天员在飞船外部工作时穿用的航天服，用以保证航天员进入外层空间或者降落到其他天体表面完成一定的工作任务。这种航天服具有更高的可靠性，它还装配有携带式生命保障系统，并携带有供航天员在外层空间运动的小型火箭。

航天服一般由密闭头盔和密闭服组成。密闭头盔由透明聚碳酸酯制成，为防止来自太阳的紫外线与红外线等强烈辐射，在头盔的透明层上涂有金属薄层。密闭头盔内可以供氧和加压。密闭服通常由几层具有耐高温的防火聚酰胺纤维织物等一些特殊材料制成，其中夹有数层铝箔，具有隔热、防护宇宙射线以及防止太空中流星雨的撞击等作用。为了适应航天员在航天飞行中长时间穿用，航天服都具有良好的气密性。另外，航天服还配备有自动控制空气再生和调节的自给系统、无线电通信系统、航天员的摄食与排泄等设施。

虽然世界各国制造的航天服各有区别，但是基本结构大致相同。一般来说，各国航天服在结构上至少分为以下几层。

（1）内衣舒适层：航天员在长期飞行过程中不能洗换衣服，大量的皮脂、汗液等会污染内衣，故选用质地柔软、吸湿性和透气性良好的棉针织品制作。

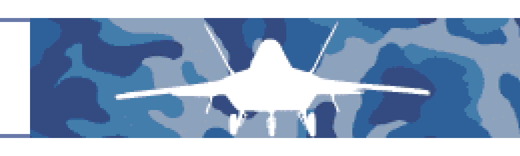
（2）保暖层：在环境温度变化范围不大的情况下，保暖层用以保持舒



身穿舱外航天服的美国航天员
尼尔·阿姆斯特朗



俄罗斯航天员的舱外航天服



适的温度环境。选用保暖性好、热阻大、柔软、重量轻的材料，如合成纤维絮片、羊毛和丝绵等。

（3）通风服和水冷服（液冷服）：在航天员体热过高的情况下，通风服和水冷服以不同的方式散发热量。若人体产热量超过 350 大卡 / 时（如在舱外活动），通风服便不能满足散热要求，这时即由水冷服降温。通风服和水冷服多采用抗压、耐用、柔软的塑料管制成，如聚氯乙烯管或尼龙膜等。

（4）气密限制层：在真空环境中，只有保持航天员身体周围有一定压力时才能保证航天员的生命安全。因此，气密层采用气密性好的涂氯丁尼龙胶布等材料制成。限制层选用强度高、伸长率低的织物，一般用涤纶织物制成。由于加压后活动困难，各关节部位采用各种结构形式：如网状织物形式、波纹管式、橘瓣式等，配合气密轴承转动结构以改善其活动性。



美国国家航空航天局展出的舱外航天服

（5）隔热层：航天员在舱外活动时，隔热层起过热或过冷保护作用。它用多层镀铝的聚酰亚胺薄膜或聚酯薄膜并在各层之间夹以无纺织布制成。各膜之间用网络物隔开，贴在一起形成屏蔽。它有良好的隔热和防辐射作用。

（6）外罩防护层：是航天服最外的一层，要求防火、防热辐射和防宇宙空间各种因素（微流星、宇宙线等）对人体的危害。这一层大部分用镀铝织物制成。这个外套要求防磨损力强、耐高温，除能防护内部各层不受损坏外，还要注意到颜色的选择，一般用白色或金黄色为好。


身穿舱外航天服进行太空行走的美国航天员

事实上，许多航天服还不止这几层，例如美国的航天服多达 15 层，这还不算航天员背负的背包。这个背包连接着航天服，构成了一个完整的生命维持系统。





NO.13　航天员需要携带哪些救生物品？

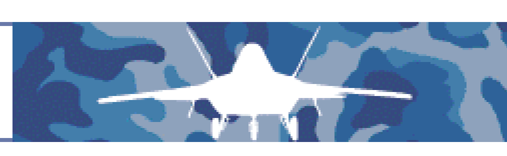
在完成飞行任务过程中，航天员可能会遇到意料之外的险情。例如，当载人飞船应急返回地面或降落在海上后，航天员可能遇到各种恶劣的自然环境和危险情况。

面对险情，心理素质极佳的航天员自然有应对之策。航天员培训时在模拟场地也做过类似的训练，这样就提高了航天员的应变能力。为了保障航天员的生存、联络和自卫行动，在航天员个人救生包内备有各种自然环境下使用的 20 余种救生物品。每名航天员装备一套，全部救生物品（含包装）的重量约 25 千克。救生包放置于返回舱座椅的附近。在轨飞行时，航天员个人救生包处于封存不工作状态。

由于载人飞船地面返回控制系统的局限性，航天员在乘返回舱应急软着陆时，不像地面上的飞机从甲地驶往乙地，一段时间后，会准确无误地返回甲地的飞机场。而载人飞船在返回时虽确定在某一区域，但是在具体实施过程中又可能出现不确切性。因此，为满足“全球性”的救生要求，装备有 4 种功能的物品，即求救信号联络物品、医疗救护用品、生存物品和防御自卫用品。

求救信号联络物品包括：远距离个人呼救电台、GPS 定位仪、近距离信


俄罗斯航天员参加冬季生存训练





美国国家航空航天局和欧洲航天局联合进行冬季生存训练

号枪及信号弹、闪光标位器、太阳反光镜、光烟信号管、海水染色剂。

医疗救护用品包括：急救药包、蛇伤自救盒、蚊虫驱避剂。

生存物品包括：救生食品、救生饮用水、食盐、救生船、渔具、驱鲨鱼剂、抗浸防寒漂浮装备、指北针、抗风火柴、防尘太阳镜、引火物、救生手册、救生包体。

防御自卫用品包括：自卫手枪及子弹、生存刀。

在遇到险情时，怎样有条不紊地使用个人救生包的物品，对航天员来说是一件重要的事情。航天员个人救生包分为救生物品包和救生船包。救生船包放置抗浸防寒漂浮装备和救生橡皮船；其余物品放置在救生物品包内，救生物品包在上，救生船包在下，叠放在一起，紧固在飞船返回舱座椅附近。



俄罗斯航天员参加水上生存训练



参加水上生存训练的欧洲航天局航天员



NO.14　航天器发射场的选址有何特殊要求？

航天器发射场是为了保障航天运载火箭的装配、发射前准备、发射、弹道测量、发送指令以及接收和处理遥测信息而专门建造的一整套地面设备、设施和建筑，是一个国家航天能力的重要组成部分。

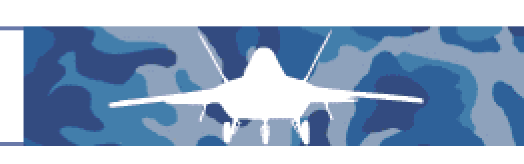
发射场选址要求

航天器发射场场址的选择是发射场规划建设的基础和先决条件，其选择是否正确得当、科学合理，直接关系到发射场规划建设与投资、发射试验能力、技术与经济效益和可持续发展能力等各项重要技术指标。

任何一个航天器发射场场址的选择，主要都是以航天器、运载火箭的发射使用需求作为选址建设的出发点和基础。因此，航天器和运载火箭的发射使用要求与需求分析是发射场场址选择应遵循的最基本原则，主要包括 9 个方面：①航天器发射任务的性质与任务类型；②航天器与运载火箭类型，结构尺寸、质量与运输要求；③使用的推进剂类型、种类与加注要求；④发射飞行轨道与射向范围要求；⑤发射周期与年发射能力要求；⑥气象与环境条件要求；⑦地面技术支持与保障要求；⑧发射控制与首区、航区、残骸落区安全要求；⑨测量控制与通信要求。



肯尼迪航天中心




拜科努尔发射场

运载火箭发动机所用的推进剂大多有毒性，易燃和易爆，火箭发动机点火后喷出的有害气体会污染周围的环境，助推火箭或运载火箭的第一级在完成工作后坠落地面，或因故障和失误造成发射失败，都会对地面生命财产构成严重威胁。因此，世界各国通常把航天器发射场选在人口稀少，地势平坦，视野开阔，地质、水源、气候和气象条件适宜的内陆沙漠、草原或海滨地区，也有建在山区或岛屿上的。另外，地球自转的影响也是选址的考虑因素。特别是发射地球静止卫星或小倾角轨道航天器的发射场，宜选建在地球赤道附近或低纬度地区。这样的地区比较容易获得小倾角轨道，能减少远地点变轨所需要的能量，缩短从发射点到入轨点的航程。法国圭亚那航天中心就是基于这点考虑选址的。

主要设施和设备

航天器发射场通常由测试区、发射区、发射指挥控制中心、综合测量设施、各勤务保障设施和管理服务部门组成。某些航天器发射场还包括助推火箭或运载火箭的第一级工作完成后的坠落区和再入航天器（如航天飞机的轨道器）或回收舱的着陆（溅落）区。

航天器发射场的全部设备分为专用技术设备和通用技术设备。专用技术设备包括：运输设备、起重装卸设备、装配对接设备、地面供电设备、地面检测和发射用电气设备、自动控制设备、推进剂贮存和加注设备、废气和废液处理设备、发射勤务设备、遥控和监控设备、测量和数据处理设备。

通用技术设备有：动力、通信、气象、计量、给排水、供气、消防、修

理等设备。固体火箭的航天器发射场设有专门的固体火箭装配厂房及其辅助设施。航天飞机发射场，还设有轨道器返回着陆设施（如跑道和其他着陆设施），设有轨道器检修、装卸载荷、有毒燃料处理等设施和设备，以便修整后重复使用。

世界著名发射场

1）肯尼迪航天中心

肯尼迪航天中心是美国最大的载人航天基地，建于 1962 年 7 月，位于美国佛罗里达州卡纳维拉尔角。其优势是发射场纬度较低，向东发射火箭，可借助地球自转来提高火箭的运载能力，有助于卫星入轨；附近的海岛还可用作理想的跟踪测量站站址；发射方向面临大海，没有人口密集的忧虑，飞行中的火箭万一出现故障，也不会造成严重的安全问题。肯尼迪航天中心是美国宇航局进行载人与不载人航天器测试、准备和实施发射的最重要场所，从这里进行的航天器发射任务，包括了美国所有向地球同步轨道的发射任务，发射过“阿波罗”飞船、“天空”实验室、不载人行星和行星际探测器以及科学、气象、通信卫星等。

2）拜科努尔发射场

拜科努尔发射场建于 1955 年，位于哈萨克斯坦拜克努尔市西南 288 千米处。俄罗斯从 1994 年开始租赁该发射场，预计租赁期限截至 2050 年，是俄罗斯最大的航天器和导弹发射试验基地，其规模相当于美国的肯尼迪航天中心。拜科努尔发射场的主要任务是发射载人飞船、卫星、月球探测器和行星探测器，进行各种导弹和运载火箭的飞行试验。另外，这里还进行拦截卫星和部分轨道轰炸系统的试验。俄罗斯在此发射了世界第一颗人造卫星及其他行星探测器，还发射了“东方”号、“上升”号、“联盟”号等载人飞船和“礼炮”号空间站及“暴风雪”号航天飞机。

3）库鲁发射场

库鲁发射场位于南美州北部法属圭亚那中部的库鲁地区，于 1971 年建成，是目前法国唯一的航天器发射场，也是欧洲航天局开展航天活动的主要场所。由于发射场的纬度低，相同发射方位角的轨道倾角小，因而远地点变轨所需要的能量小，可以相应地增加向地球同步轨道上发射有效载荷的重量。库鲁发射场以发射“阿丽亚娜” 运载火箭而闻名，迄今该系列火箭发射成功率已达 90% 以上，发射场主要用于科学卫星、应用卫星等各类空间飞行器的测试发射等，是世界上承揽商业航天发射最多的发射中心，近 200 枚运载火箭从



这里点火升空，已将250余颗不同型号的卫星送入太空。

4）斯里哈里科塔发射场

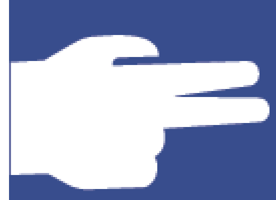
印度的导弹试验和卫星发射场，位于印度南部东海岸的斯里哈里科塔岛，1979年正式投入使用。1980年7月18日，印度用自制的火箭成功发射人造卫星，成为世界上第7个自行发射卫星的国家。发射场拥有发射各种卫星的大型运载火箭的试验、组装和发射设施，拥有跟踪、测量各种卫星的测控站。印度空间研究组织还在此建设了固体推进器工厂，为大型运载火箭生产固体发动机。时至今日，该中心已成为印度最大的航天城和航天器发射中心，印度卫星运载火箭、极地轨道运载火箭和地球同步轨道运载火箭都是从这里点火升空。



俄罗斯“联盟”号宇宙飞船在拜科努尔发射场发射

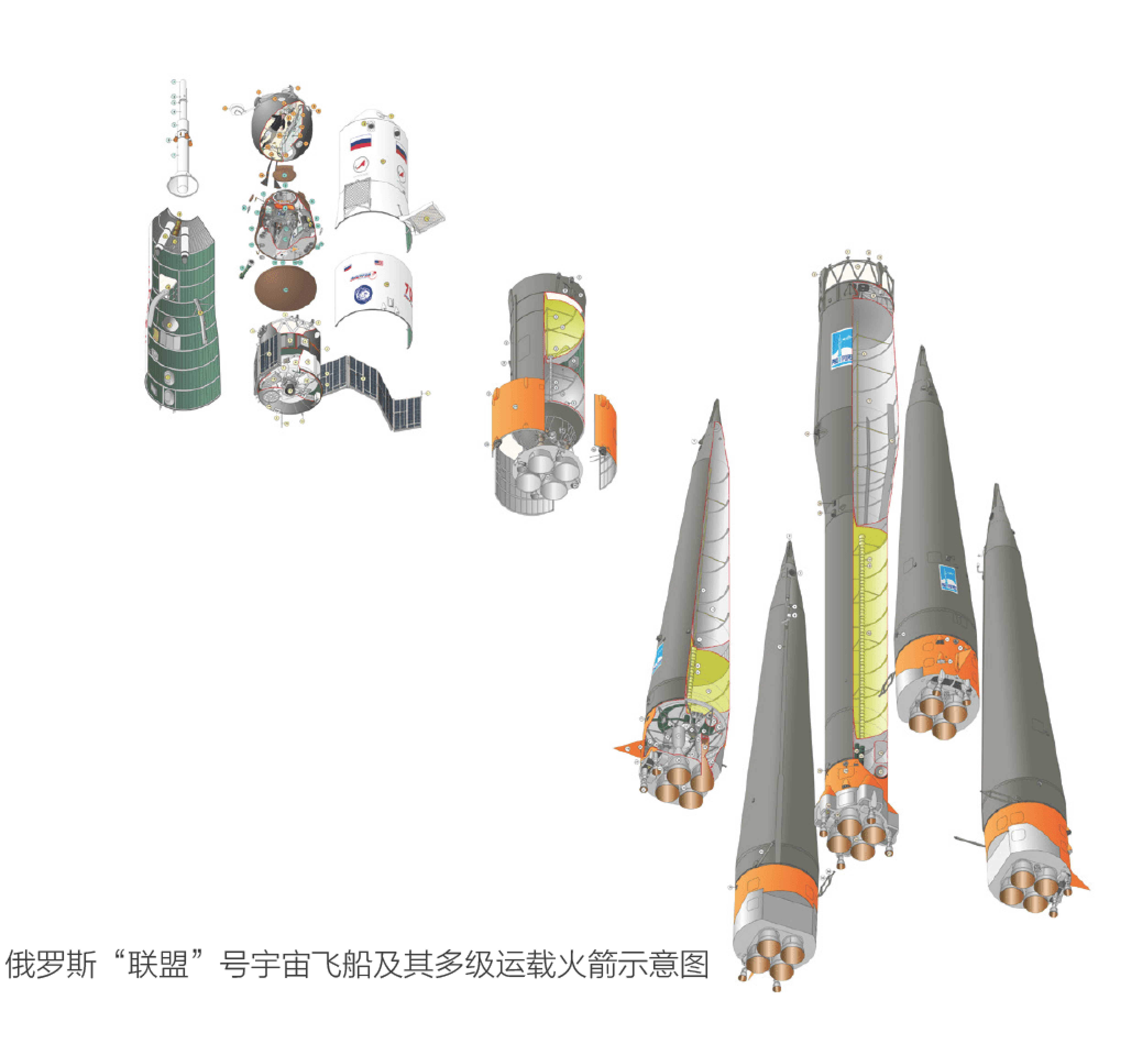


库鲁发射场

 NO.15 发射航天器要用多级火箭的原因是什么？

火箭作为一种运输工具，它的任务是将具有一定质量的航天器送入太空。航天器在太空中的运行情况与它进入太空时的初始速度的大小和方向有关。一般来说，在理想情况下，通过计算，如果航天器进入轨道的速度小于第一宇宙速度（7.91 千米 / 秒），航天器将落回地面；如果航天器进入轨道的速度介于第一宇宙速度与第二宇宙速度（11.2 千米 / 秒）之间时，则它就会在地球引力场内飞行，成为人造卫星；而当航天器进入轨道的速度介于第二宇宙速度与第三宇宙速度（16.7 千米 / 秒）之间时，它就会脱离地球引力的束缚成为太阳系内的人造行星；当航天器进入轨道的速度达到或超过第三宇宙速度时，它就能飞离太阳系。

因此，若要成功发射卫星，达到第一宇宙速度是最低要求。而目前单级火箭最大能到达的速度也只有 5 ～ 6 千米 / 秒，距离第一宇宙速度还有一定距离。若要满足要求，有三种办法，一是通过研究选用材料进而减少整体



俄罗斯“联盟”号宇宙飞船及其多级运载火箭示意图



重量；二是提高燃料的效率，即用尽量少的燃料产生更多的动力；三是通过增加燃料的携带量而使推进的时间更加持久。多级火箭就是利用的第三种办法。

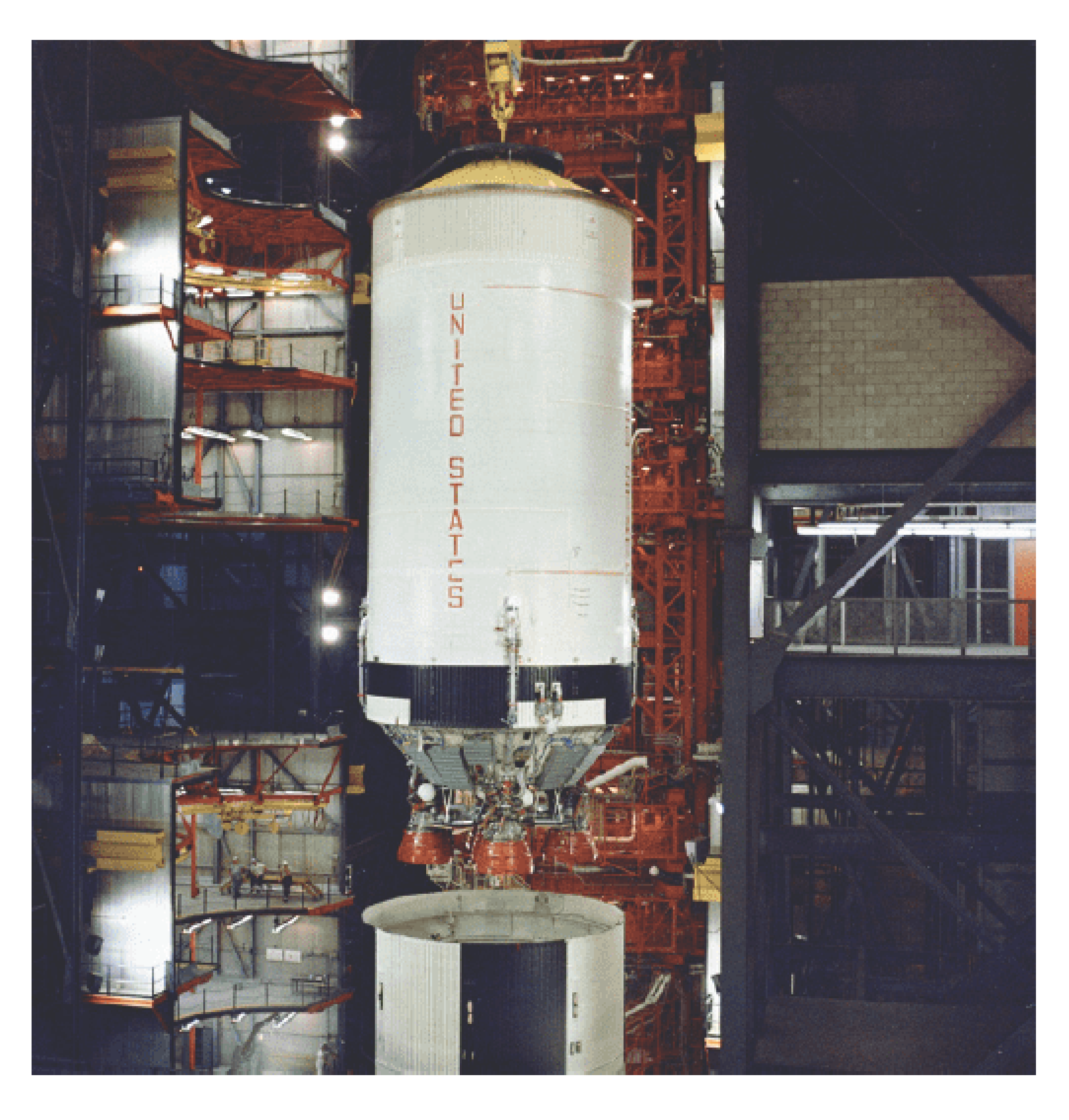
为什么一定要采用多级火箭呢？如果采用单级火箭，当燃料增加时，贮箱容积增大，质量也会增加。火箭飞行一段时间之后，燃料被消耗，贮箱越来越空，燃料越来越少，其产生的能量不仅要推动航天器还需要推动这部分空贮箱，且贮箱质量还很大，因此就造成了大量的能量浪费。而若采用多级火箭，则是每过一段时间就把不再有用的结构（消耗完的燃料贮箱）抛弃掉，无须再消耗燃料来带着它和航天器一起飞行。因此，只要在增加燃料质量的同时适当地将火箭分成若干级，就能使燃料利用率提高，从而使火箭获得足够大的运载能力。

多级火箭可以是串联式的、并联式的或串并联式的，但常用的形式是串联和串并联。串联就是将多个火箭通过级间连接 / 分离机构连成一串，第一子级在最底下，先工作，工作完毕后通过连接 / 分离机构被抛弃掉。接着，其上面级火箭依次工作并被依次抛弃，直到有效载荷进入飞行轨道。并联就是将多个火箭并排地连接在一起，周围的子级火箭先工作，工作完毕后被依次抛弃，直至有效载荷进入飞行轨道，中央的芯级火箭最后工作。以这种方式连接的多级火箭又称为捆绑式火箭。如果芯级火箭本身是串联式多级火箭，这种形式就是串并联。


苏联“东方”号多级运载火箭

多级火箭与单级火箭相比有以下优点：多级火箭在每级工作结束后可以抛掉不需要的质量，因而在火箭飞行过程中，能够获得良好的加速性能，逐步达到预定的飞行速度；多级火箭各级发动机是独立工作的，可以按照每级的飞行条件设计发动机，使发动机处于最佳工作状态，从而也就提高了火箭的飞行性能；多级火箭可以灵活地选择每级推力的大小和工作时间，以适应发射轨道的要求、轨道测量要求以及载人飞船对飞行过载的要求。

当然，任何事物都有两面性，有优点自然也有缺点，使用多级技术也使得整个火箭变得更加复杂，更加难以制造，发射失败的风险也更大。此外，多级火箭还可能会造成太空垃圾。因此，随着科技的发展，多级技术的实用性也受到了质疑。然而多级技术给人类航天所带来的好处绝对是巨大的，以至于现在几乎所有用来运送酬载至轨道的火箭都采用多级技术。



美国“土星5号”运载火箭正在吊装第二级



美国“土星5号”运载火箭发送“阿波罗15号”宇宙飞船到月球





NO.16　运载火箭的箭体结构由哪些部分组成？

箭体结构是运载火箭的基体，它把运载火箭各系统组合在一起形成一个完整的整体。在设计运载火箭的箭体结构时，应使箭体具有良好的气动外形，以保证运载火箭的飞行性能；在保证箭体结构有足够的强度和刚度条件下，质量要轻；在满足使用要求和可靠性的情况下，结构应简单；要有足够的空间用来安装运载火箭上所有仪器、设备，并满足它们正常工作所需的环境条件，如压力、温度和振动等要求。此外，箭体结构还要满足运载火箭在地面操作过程中，便于对箭上的仪器、设备进行检查、测试、维修和更换，在制造过程中有良好的工艺性和经济性等要求。

液体运载火箭的箭体主要由推进剂贮箱、仪器舱、推力结构、尾段和尾翼、有效载荷整流罩等组件组成。

推进剂贮箱占了箭体很大一部分空间，它用来存贮推进剂。采用双组元推进剂的火箭有两个贮箱，一个装氧化剂，另一个装燃烧剂。如用单组元推进剂，有一个贮箱就够了。目前，大多数运载火箭的推进剂贮箱，不但用来存贮推进剂，而且是箭体承力结构的一部分。推进剂贮箱要求密封，装上推进剂后不允许有泄漏。目前常用的材料为可焊的铝合金，早期美国的“宇宙神”火箭，曾用不锈钢作贮箱材料。用作推进剂贮箱的材料必须与存贮的推进剂相容。所谓相容，就是两者能和平共处：一方面材料能抗推进剂的腐蚀，另一方面材料对推进剂不起物理化学反应，不使推进剂的化学成分或品质发生变化。贮箱一般为圆筒形，前后有两个箱底，中间为圆柱形的壳段，用焊接方法把两个箱底与壳段焊成一个圆筒形容器。有的运载火箭为缩短整个火箭的长度，把氧化剂箱与燃烧剂箱连成一个整体，中间用一个共用的箱底隔开；有的则采用像救生圈一样的环形贮箱。在两个独立的圆筒形贮箱之间有一个连接段，叫作箱间段。利用箱间段的空间可安装一些仪器或设备，安全自毁系统的爆炸装置常放在这里。

仪器舱是集中安装控制系统和其他系统的仪器、设备的舱段。目前运载火箭的仪器舱常安排在箭体靠前端部位，这里离发动机较远，震动小，对仪器设备有利。

推力结构是用来安装发动机并把推力传给箭体的承力组件，常见的推力结构有构架式结构与半硬壳式结构两种形式。构架式推力结构又叫发动机架。

尾段在箭体的最后部位，所以称尾段。它不仅是个发动机舱，而且在整



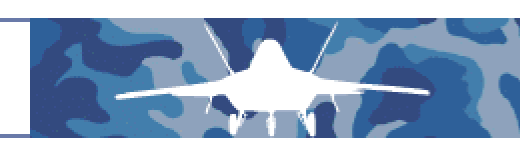
各国重要运载火箭结构对比图



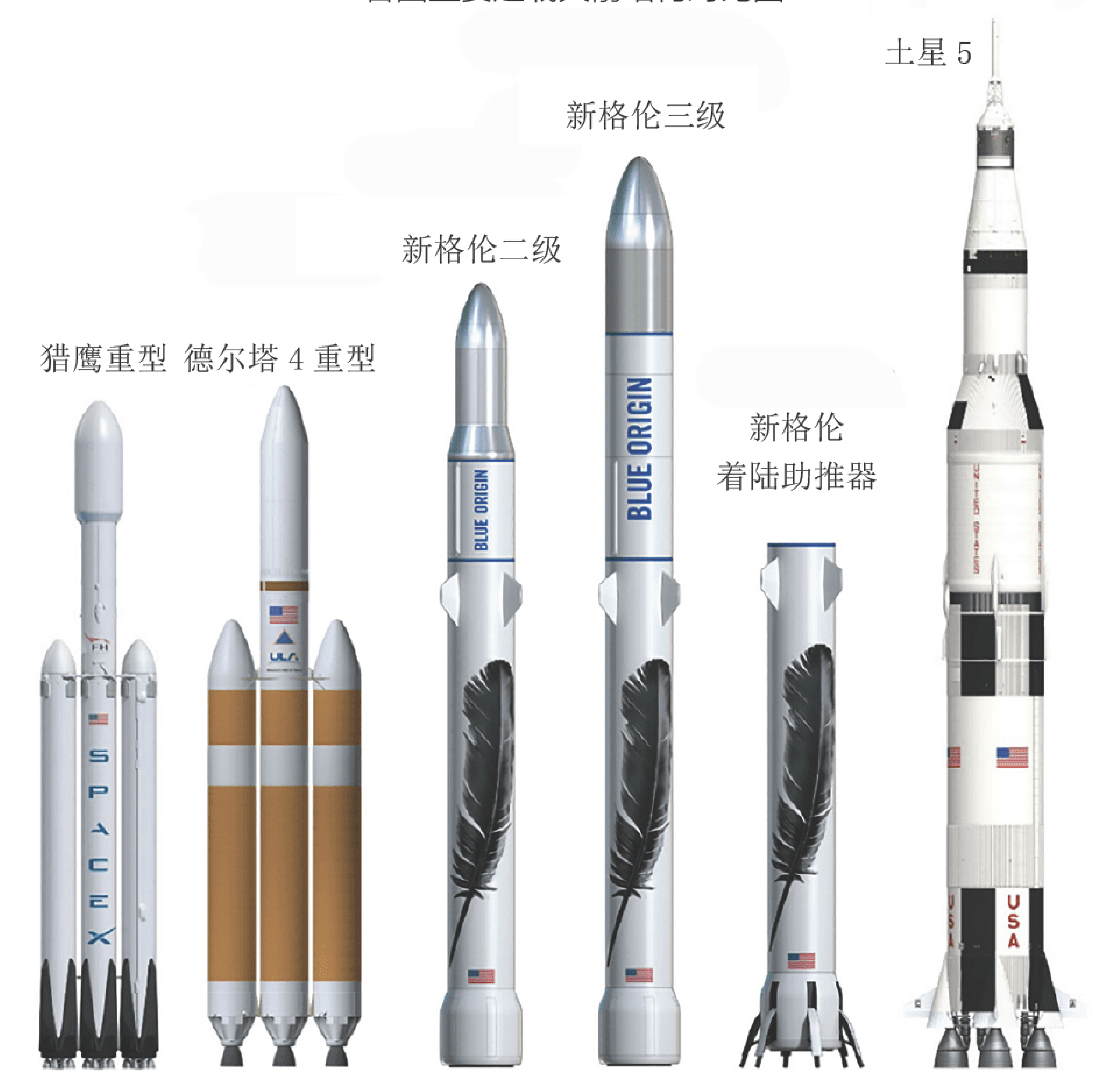
个火箭竖立在发射台上时起支撑作用。有的运载火箭在尾段外面还装有尾翼，有的则没有，尾翼具有稳定火箭飞行的作用。可以根据运载火箭在大气层内飞行时箭体气动稳定状态，在控制系统方案设计时决定要不要装尾翼。

有效载荷整流罩位于运载火箭前端。当运载火箭在大气层内飞行时，它用来保护有效载荷不受气动力和气动加热的影响；当运载火箭飞出大气层后，它已不起作用，此时，为减轻火箭质量，整流罩即被抛掉。整流罩应有足够的刚度，且质量要轻，因此常采用蜂窝结构。目前，常用的有铝蜂窝结构、玻璃钢蜂窝结构和碳纤维蜂窝结构。用于运送载人飞船的运载火箭，在其整流罩的上端装有逃逸救生火箭。当运载火箭在飞行中出现不正常情况危及航天员生命时，逃逸火箭立即点火，带着整流罩和整流罩内的载人飞船一起迅速脱离运载火箭，飞向一个安全区。这种整流罩要承受很大的逃逸载荷，因此都采用由高强度铝合金、合金钢和钛合金制成的半硬壳式结构。

对固体运载火箭而言，其箭体结构除了没有推进剂贮箱、箱间段和发动



各国重要运载火箭结构对比图



机架外，其他与液体运载火箭的箭体结构基本相同。其中，固体火箭发动机的壳体常构成箭体承力结构的一部分。

在箭体结构的组成中，还包括一些机构，最常见的机构是分离机构。分离机构具有连接与分离双重作用。在运载火箭上要分离的部位有：多级火箭的助推器与芯级火箭的分离、上面级与下面级的分离、整流罩与箭体的分离及有效载荷与箭体的分离等。目前常用的分离机构有爆炸螺栓、爆炸分离螺母、包带机构、火工锁机构和拉杆式锁钩机构等多种形式。



美国“阿特拉斯 1 号”运载火箭点火升空

小贴士

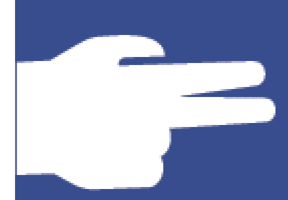
串联式多级火箭在级与级连接的部位还有一个级间段，它是级与级分离的部位。级与级之间分离有两种状态，一种叫热分离，就是上面一级火箭先点火，然后两级之间再分开；一种叫冷分离，就是两级之间先分开，然后上面一级火箭再点火。采用热分离的火箭，其级间段常采用构架式结构，便于在分离前，上面级发动机的火焰能够顺畅排出。



美国“猎鹰 9 号”运载火箭点火升空



俄罗斯“质子 M”运载火箭准备竖立



NO.17 具备发射载人飞船能力的火箭需要满足哪些条件?

目前，世界上已有十余个国家有能力发射人造卫星，但是只有寥寥几个国家能够发射载人飞船。毫无疑问，发射载人飞船在技术上的要求远高于发射卫星。具备发射载人飞船能力的火箭必须满足以下几个条件。

（1）推力要大。早期的载人飞船比较简单，最轻的只有 2 ～ 3 吨，而现代载人飞船质量至少要 5 ～ 6 吨，要把如此重的飞船送到距离地面 200 ～ 500 千米的太空轨道，火箭必须要有足够大的推力才行。

（2）具有应急救生功能。载人飞船发射的最大危险来自火箭上升段，为确保航天员的生命安全，火箭要增设故障检测系统和逃逸救生系统。这是与一般发射卫星的火箭不同的一个显著标志。

（3）高可靠性、高安全性、高质量要求。发射卫星的火箭可靠性要求大约为 0.9，对安全性无特殊要求，而发射载人飞船的火箭可靠性要求为 0.97，安全性要求为 0.997。这就要求火箭各系统的可靠性都要很高。为此，在设计中采用冗余技术，即关键设备增设备份，使两套系统同时处于工作状态，一旦其中一套出现故障，另一套马上可以接替工作。

为保障航天员的生命安全，在研制载人火箭过程中，采用高试验标准和严格的质量保证措施，对成千上万个电子元器件提高质量等级并逐一进行筛选，对各个系统进行充分的地面试验，对研制全过程进行严格的质量控制，从而保证火箭具有很高的质量。



俄罗斯“联盟”号运载火箭逃逸救生系统特写



美国“土星 5 号”运载火箭点火升空



NO.18 同一种火箭有不同运载能力的原因是什么？

一种运载火箭一旦研制完毕，它的尺寸、重量、各级发动机推力就大致确定了下来。但为什么同一种火箭会有不同的运载能力呢？问题不是出自火箭本身，而且是由所要发射的不同用途的载荷决定的。换句话说，一种火箭在不同的地理位置、发射不同轨道载荷，它的运载能力都是不同的。

由于地球是一个球体，具有自转特点，发射卫星可以借助地球自转速度。但在不同的纬度借助地球自转的程度不同，纬度越低，借助地球自转的程度越大，也就是说同一火箭在低纬度地区发射的运载能力要大一些，在高纬度地区发射的运载能力要小一些。同样，顺地球自转方向发射火箭运载能力会大一些，逆地球自转方向发射运载能力会有所降低。

轨道对火箭的运载能力影响更大。同一火箭发射低地球轨道航天器，运载能力较大；发射高轨道卫星，运载能力较低；发射星际探测器时运载能力会更低。所以，在谈到运载火箭的运载能力时，都要注明发射的载荷是何种轨道，否则容易引起误解。

以俄罗斯“质子”号四级火箭为例，它主要用于发射高轨道卫星和星际探测器，其同步转移轨道运载能力为 5500 千克；静止轨道运载能力为 2200 千克；月球轨道运载能力为 5700 千克；金星轨道运载能力为 5300 千克；火星轨道运载能力为 4600 千克。



意大利“织女星”运载火箭



俄罗斯“质子”号火箭点火升空



NO.19 运载火箭的发射成本有多高?

作为现代制造业的顶级成果之一，运载火箭的研制难度极大，发射运载火箭更是一项庞大的工程，因此航天发射的成本极高。

一般而言，发射一次运载火箭的成本包括以下几个方面：运载火箭的研制成本（单价）、运载火箭的发射成本、运载火箭的测控成本。组成运载火箭的部件都有很高的技术要求，在经历预研、生产、组装、测试等各个阶段，每一阶段都需要花费大量的经费。运载火箭的生产数量不可能像汽车一样多达数万辆，生产几十枚上百枚已经相当多了，有的仅生产几枚。无法大批量生产无疑会大幅度增加单件的成本。

小贴士

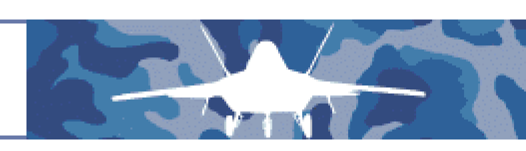
美国研制的用于登月的运载火箭“土星 5 号”只生产了 15 枚，一枚火箭的成本高达 1.85 亿美元。美国目前还在使用的“大力神 4”运载火箭单枚成本高达 2 亿多美元。

运载火箭的发射成本包括消耗的推进剂成本、发射场的使用成本以及地面各类附属设施的使用成本，当然也包括人力成本。运载火箭的测控成本主要包括遍布在各地的测控台站、测量船、指挥控制中心需要花费的成本。

综合上述因素，可以看出发射一次运载火箭的成本是很高的。当然，不



俄罗斯“联盟”号宇宙飞船及其运载火箭被运往发射场




俄罗斯"质子 M"运载火箭点火升空

同类型、不同运载能力以及不同国家的不同运载火箭的一次发射总成本也大不相同。通常，小型运载火箭发射一次大约需要 2000 万～ 3000 万美元；中型运载火箭发射一次大约需要 6000 万～ 15000 万美元；大型运载火箭发射一次大约需要 2 亿美元以上。

由于各国运载火箭研制、发射和人力资源成本不同，发射同类火箭的成本也有较大差别，美国运载火箭发射成本远远超过俄罗斯和欧洲航天局，例如"大力神 4"火箭发射一次的总成本高达 3.5 亿美元。


印度地球同步卫星运载火箭



NO.20　多级火箭的级间分离方法有哪些？

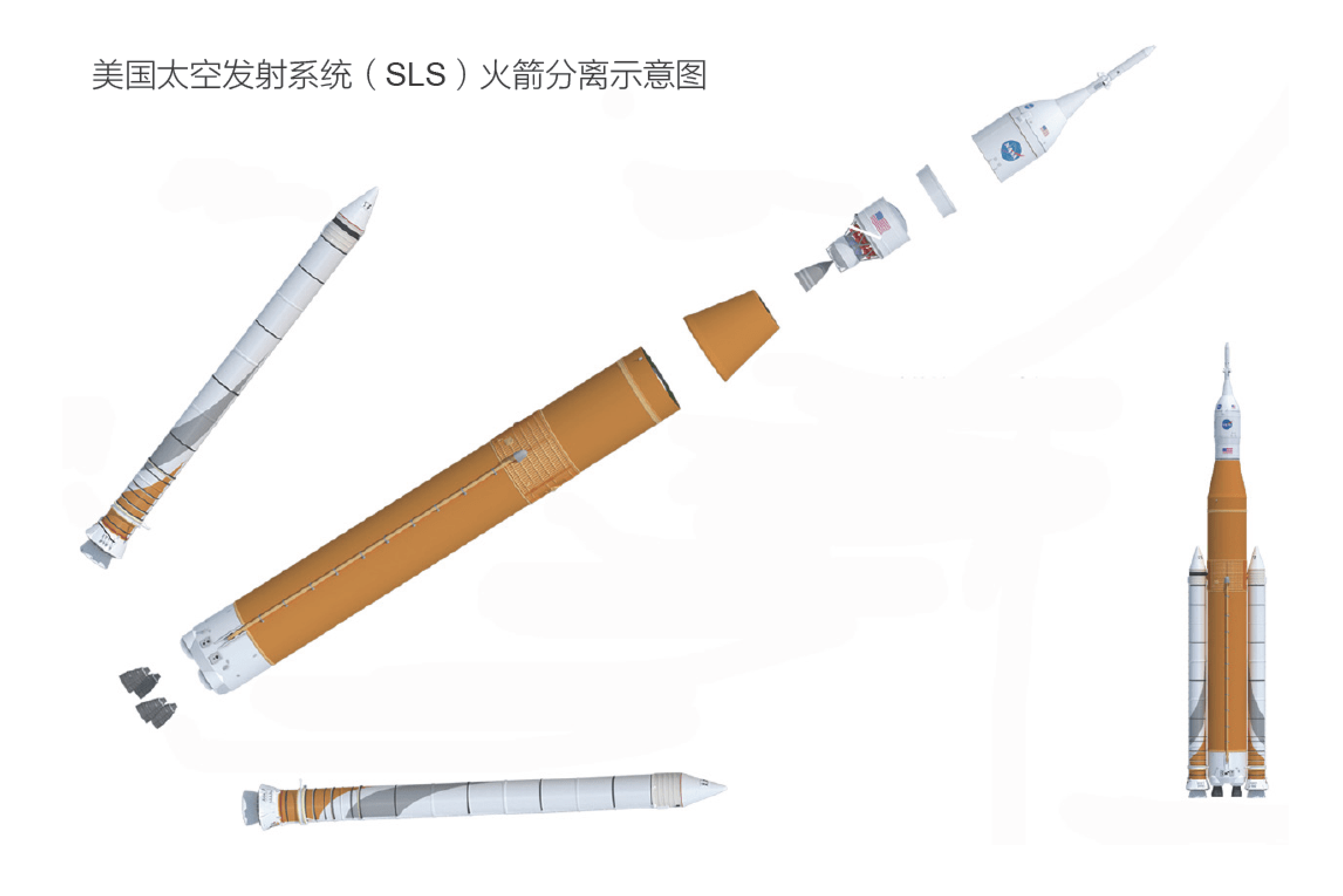
级间分离技术是将联结成一个整体的多级火箭按预定程序进行分离的技术。目前，世界各国的运载火箭，多数是二级或三级，少数为四级。多级火箭的每一级，实际上都是能够独立工作的单级火箭。它们有各自的发动机（一台或数台）、控制系统的部分仪器（可分离掉的）、推进剂系统、控制稳定飞行的执行机构等。在火箭的最下面一级称为第一级，依次向上，分别称为第二级和第三级。

为了联结和分离的方便，有些火箭还有级间段。各级的联结一般采用爆炸螺栓、爆炸索、定位销等联结件。在火箭飞行过程中，各级按程序指令启动、关闭发动机，然后依次把它们抛掉，从而降低了用于继续加速所需的能量消耗。

多级火箭的分离既不能过早，也不能过迟，更不允许该分离而不分离。这就要求它的分离要及时、准确、可靠、安全。常见的有热分离和冷分离的两种办法。

热分离的基本程序是：启动第二级发动机，关闭第一级发动机，起爆炸断联结件。显然，这种分离主要靠第二级火箭发动机的燃气流使第一级断开

美国太空发射系统（SLS）火箭分离示意图





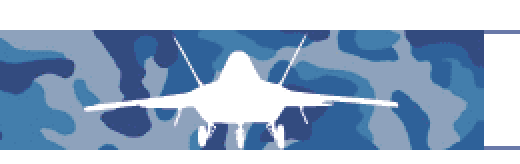
结合部之后减速，同时又使第二级在启动之前受到轴向过载作用而保证启动的可靠性，因而十分简便。不过，在分离时第二级无疑要受到较大的扰动，并且要多消耗一些推进剂。

冷分离又称减速分离。它的分离指令程序一般是：级间联结件爆破断开，启动第一级的制动火箭或其他制动装置，启动第二级的火箭发动机。在此种情况下，级间分离机构的组件少、也较轻，工作过程不会受到很大的轴向、侧向、振动等作用力的影响，显得分离平稳。但是，这种分离方式，对于控制系统的精度要求较高。

当级间的联结件解锁时，第二级发动机点火产生加速，第一级因受制动力作用而减速，于是，在这两级之间就形成了一个“安全距离”。

第一级的制动力，可以用安装制动火箭或反射喷管等装置来产生。它们适时投入工作后，可避免第一级受发动机后效推力作用追上第二级所引起的碰撞，以保证分离之后第二级飞行的稳定性。

美国“猎鹰 9 号”火箭分离示意图



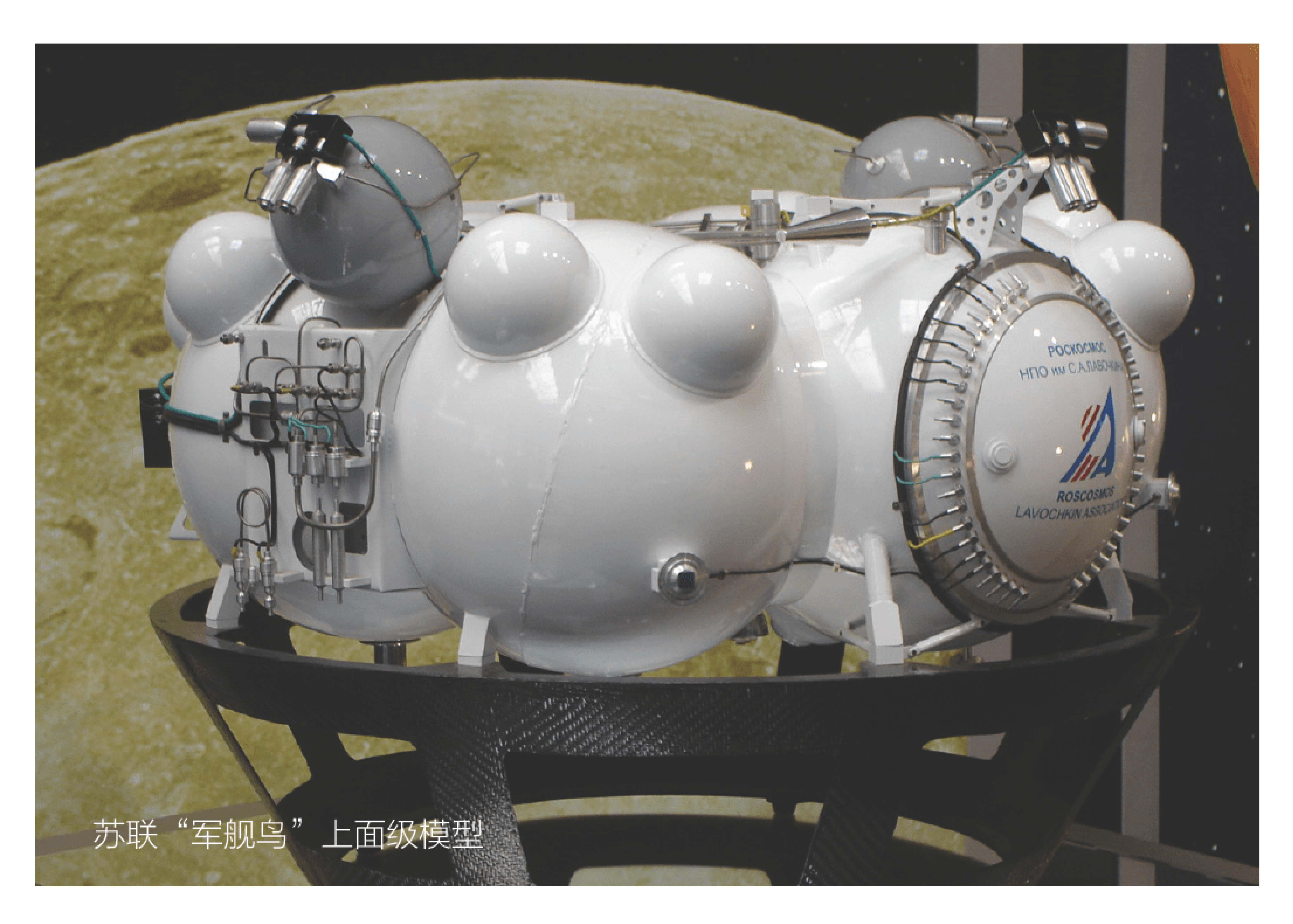


NO.21　被称为“太空摆渡车”的上面级有何作用？

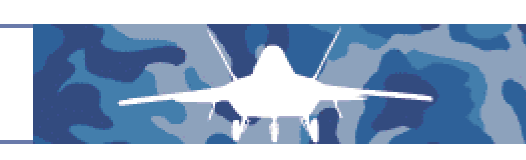
上面级（upper stage）是多级火箭的第一级以上的部分，作用介于运载火箭和航天器之间，既有自主轨道机动能力，在轨飞行时间又长，它一般可多次启动点火，满足不同的发射任务需求，可以将一个或多个载荷送入指定轨道，被形象地称为“太空巴士”或“太空摆渡车”。

目前，各航天大国的常规运载火箭都具备将有效载荷送入低地球轨道（距离地面高度约 1000 千米以下的轨道）的能力。一般情况下，常规液体运载火箭级数为 2 ～ 3 级，固体火箭为 3 ～ 4 级。在此基础上，如果需要将载荷送入更高的轨道或大椭圆轨道，就需要增加运载火箭的级数，或采用先进的末子级二次点火技术。

然而，即使运载火箭具备较多的子级或二次点火启动的能力，对于一些特定任务依然是不够的，尤其是在发射多个不同轨道要求载荷的时候。因为常规运载火箭是依靠一次性电源供电的，即使推进剂足够，也不可能在轨道上停留太长时间。此时，常规运载火箭就显得无能为力了。因此，研制能够多次启动，且可以数小时乃至数天在轨停留的先进上面级，就成为适应这类任务需求的最佳选择。



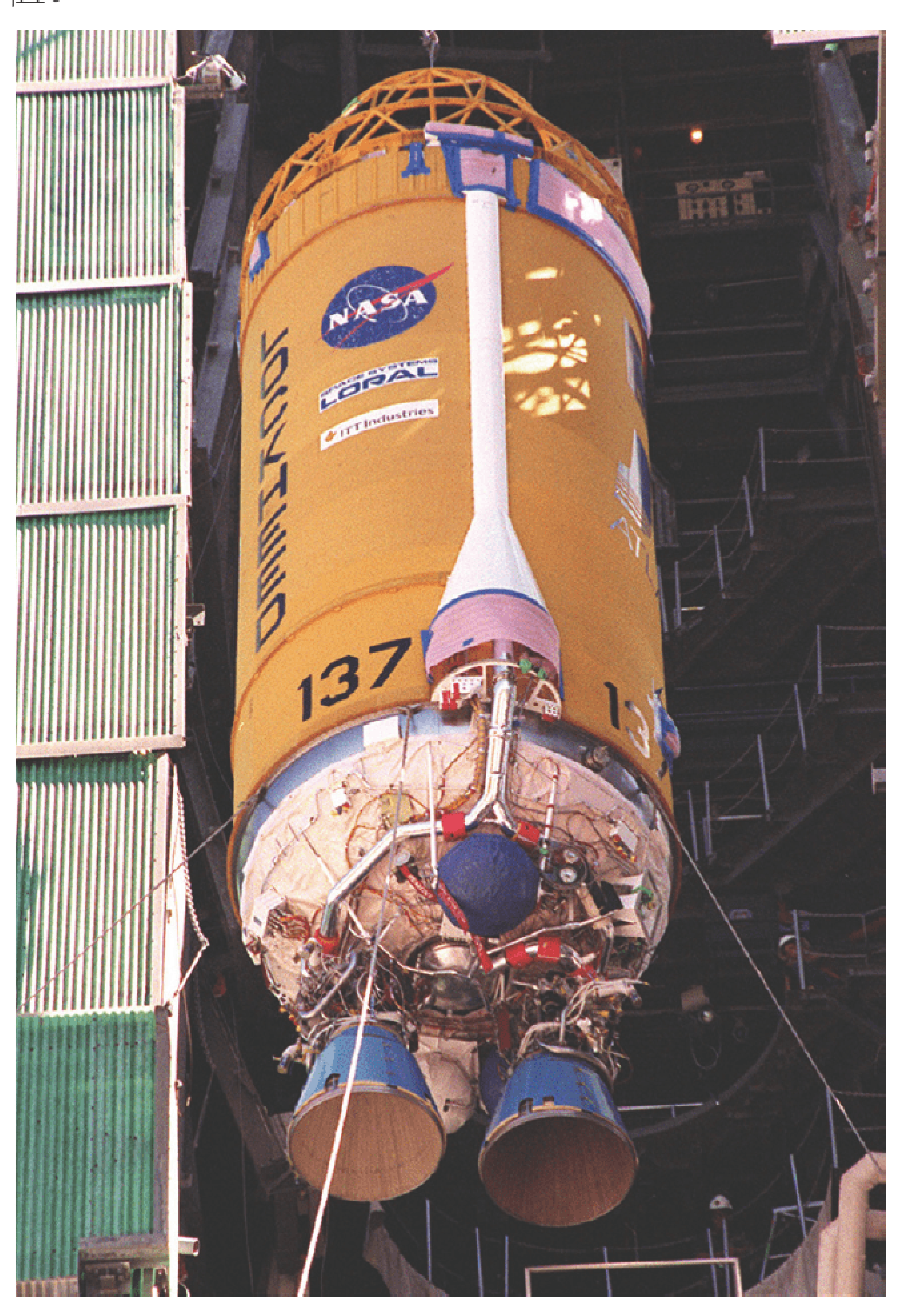
苏联“军舰鸟”上面级模型



上面级技术具备多个特点：能在太空中多次点火启动，满足不同发射任务的要求；工作时间长于运载火箭，可达数小时、数天乃至数十天；能携带多个载荷，通过飞行轨道的变化将载荷送入预定轨道。

在冷战期间，美苏两国都研制了先进上面级。其中，美国以 RL-10 氢氧发动机为核心，通过上面级数小时的长时间滑行和发动机的三次点火将卫星送入静止轨道。苏联则以常温的偏二甲肼推进剂发动机为核心，研制出了“军舰鸟”（Fregat）、Block DM 等系列上面级，用于从高纬度发射场发射高轨道卫星。近年来，欧洲和日本也同样开展了上面级的研制工作。

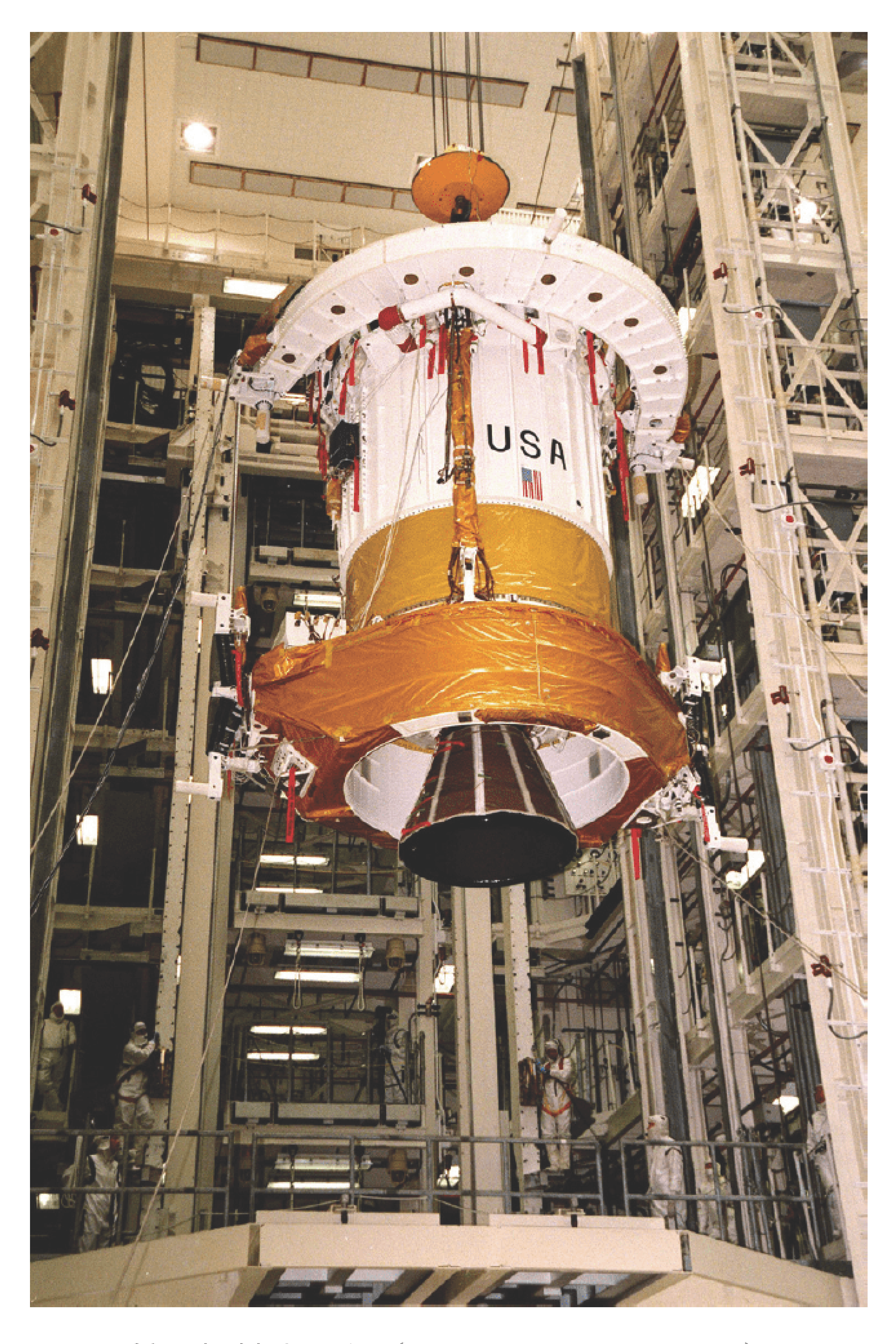
2013 年，美国和印度分别发射了火星探测器。其中，印度的火星探测器依靠自身动力入轨，在地球轨道加速了 1 个月才脱离地球引力，整个飞往火星的行程预计将历时 3 年。而美国的火星探测器由于运用了先进的上面级技术，在发射的 1 小时内即脱离地球引力圈飞向火星，充分显示了上面级技术应用的巨大价值。



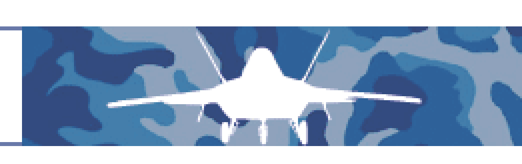
美国“半人马座”上面级

上面级分为固体和液体动力两种，固体上面级构造简单，实现比较容易，航天飞机在执行卫星发射任务时也经常使用，其缺点是能够适应的任务范围非常单一。采用液体动力系统的上面级，因为具有多次启动能力，能够适应多个载荷的发射任务。

目前，各国发射地球同步轨道卫星，大多是由运载火箭将卫星发射到大椭圆轨道，然后由卫星在远地点变轨，进入圆形的地球同步轨道。这个过程需要消耗卫星大约自身重量一半的推进剂才能实现。因此，通信卫星虽然尺寸很大，但实际上留给有效载荷的重量和空间并不多。有了上面级，就可以在将卫星送入地球同步转移轨道后，经过十几个小时之后再次点火，将卫星直接送入地球同步轨道。这样，卫星就可以缩小到原来的一半大小。而且，运送完这些卫星，上面级可以自行进入垃圾轨道，不占用宝贵的同步轨道位置资源。



美国惯性上面级（Inertial Upper Stage）





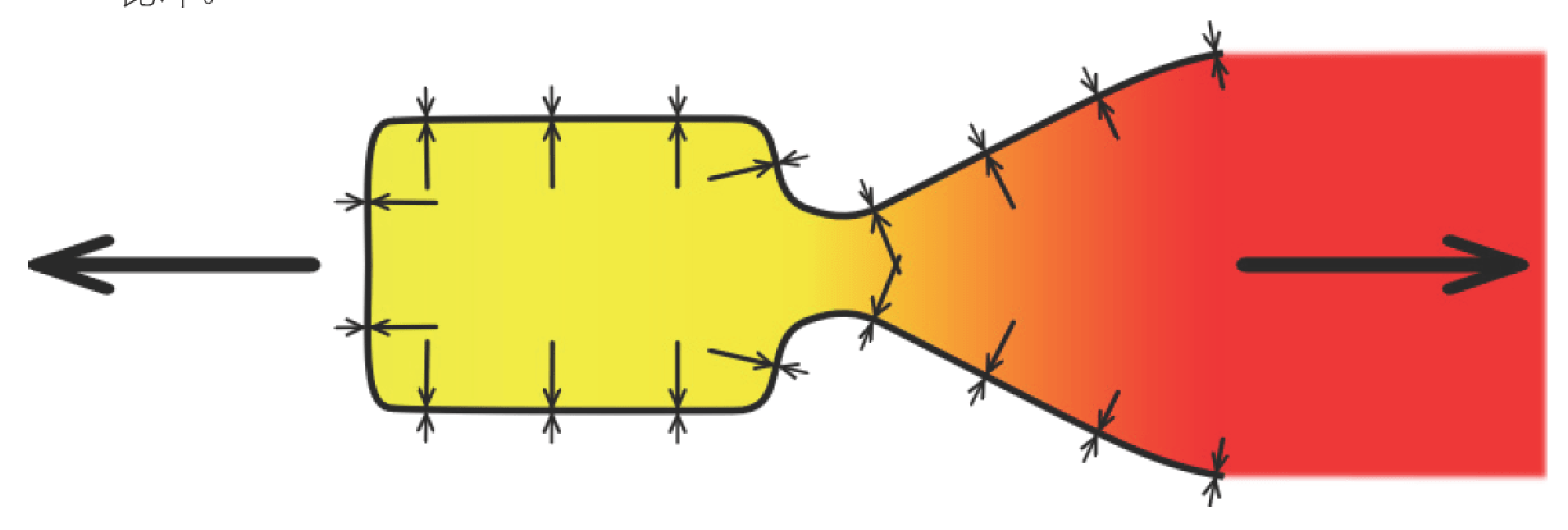
NO.22 火箭使用的液体推进剂主要有哪些类型?

液体推进剂是液体火箭发动机的能源和工质在航天发射领域被普遍应用。按照液体推进剂本身的用途，可分为主推进剂、启动推进剂和辅助推进剂；按照推进剂所包含的基本组元数目，可分为单组元、双组元和三组元推进剂。

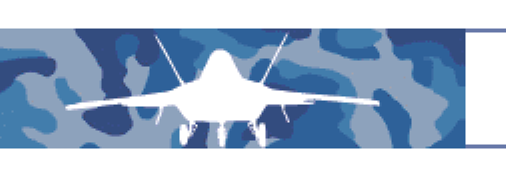
单组元液体推进剂可以是具有氧化性和还原性物质的混合物，也可以是单一的化合物，这种单一的化合物在其分解时可以伴随着释放热量并汽化。火箭发动机单组元液体推进剂在自然条件和控制环境下必须是稳定的，且当加压、加热或经过催化剂时，能够产生热的燃烧气体或分解气体。通常单组元液体推进剂发动机系统具有结构简单的优越性。但遗憾的是，大多数实用的单组元液体推进剂（如过氧化氢）的性能都较低，因此主要用于火箭发动机系统中的副能源，例如涡轮泵的气体发生器和辅助动力传动，以及用于姿态和滚动控制用的喷气源。也有一些性能高的单组元液体推进剂，但它们的稳定性较差，如硝基甲烷，故在火箭上应用是不安全的。

双组元液体推进剂发动机系统采用两种不同的推进剂组元，通常一种为氧化剂，一种为燃料。单独的贮箱分别贮存氧化剂和燃料。氧化剂和燃料一直到它们进入燃烧室之前，始终是不混合的。现代液体推进剂火箭发动机几乎无一例外地采用双组元推进剂，这是因为它们的性能较高，同时双组元推进剂比较安全和便于调节。

三组元推进剂是指在液态燃料中加入少量高燃烧热的金属粉末，如铝、镁、铍、锂等，这样，与氧化剂一起组成三个组元；也有采用液氧、煤油、液氢的三组元方案。理论上讲，三组元推进剂能得到化学推进剂中的最高比冲。



液体火箭发动机推力产生原理示意图



根据氧化剂和燃料直接接触时的化学反应能力，可将推进剂划分为非自燃推进剂和自燃推进剂。非自燃推进剂需要设置点火装置。而对于自燃推进剂的组元，当它们在使用温度和使用压强范围内以液态相接触时，就能进行放热的化学反应。自燃推进剂使点火问题大大简化了，但也带来了危险性。例如，由于贮箱和其他组件泄漏引起燃料和氧化剂的意外混合，会造成爆炸。

按照推进剂组元保持液态的温度范围，可分为低沸点推进剂（低温推进剂）和高沸点推进剂（可储存推进剂）。

在标准压强下，低沸点推进剂组元的沸点低于 298 开，并处于不断汽化的状态。某些液体推进剂是液化气体，它在大气压强下具有非常低的沸点。比较常用的低温推进剂有液氧和液氢。在目前大量使用的推进剂中，液氧、液氢推进剂的效能是最高的。但液氢的低密度和极易蒸发是其最大的缺点，因此应特别重视低温推进剂的储存和使用问题。为了减少由蒸发引起的损失，必须采取良好的绝热措施。

与低沸点推进剂相反，在使用条件下，高沸点推进剂组元的沸点高于 298K，这类推进剂在地面的一般使用条件下是液态的，而且在保存时无蒸发损失。某些液体推进剂在一个相当宽的温度和压强范围内是稳定的，并且与结构材料发生化学反应的概率很小，因此足以允许推进剂在一封闭容器内储


V-2 火箭的发动机涡轮泵



存一年或更长的时间，这些推进剂也通常被称为可储存推进剂（常规推进剂）。可储存推进剂一般包括一系列的推进剂组合，主要是以四氧化二氮（NTO）为氧化剂，以肼、一甲基肼（MMH）、偏二甲肼（UDMH）或它们的混合物为燃料。可储存液体推进剂几乎不用发射准备时间，无须采取特殊的隔热措施，可以在加注状态下长期保存，因此，可储存推进剂在军事用途飞行器上有很广泛的应用。

在液体火箭发动机上可采用的液体氧化剂有硝酸、四氧化二氮、过氧化氢、三氟化氯、液氧和液氟，前四种是可储存的氧化剂，后两种是低温氧化剂。可采用的燃料有乙醇、煤油、肼、偏二甲肼和液氢，前四种是可储存的燃料，后一种是低温燃料。

小贴士

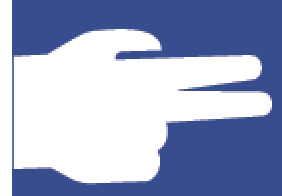
历史上第一枚液体火箭是由美国火箭学家罗伯特·戈达德于1926年发射的。德国火箭专家冯·布劳恩的研究团队在二战期间研制的V-2火箭极大地促进了大型液体火箭发动机的发展。



“联盟”号运载火箭的尾喷口


使用液体火箭发动机作为动力的俄罗斯“联盟”号运载火箭





NO.23　火箭燃料装在“暖水瓶”里的原因是什么？

1981 年 4 月 12 日，美国“哥伦比亚”号航天飞机在佛罗里达州肯尼迪航天中心发射场成功发射。该航天飞机是第一个采用新型助推剂——液氢的航天器。此次试飞取得成功后，液氢成为各航天器发射的主要燃料。为什么要采用液氢作为航天器的主要燃料呢？

氢普遍存在于自然界中，有“生命之源”之称的水，就是由氢原子与氧原子结合而构成的。氢极易在空气中燃烧。除核燃料之外，氢的发热值是所有化石燃料、化工燃料和生物燃料中最高的。每千克氢燃烧后的热量，约为焦炭的 4.5 倍，汽油的 3 倍，酒精的 3.9 倍。如果把海水中的氢全部提取出来，它可产生的热量甚至比地球上所有的化石燃料放出的总热量还大 9000 倍。氢的燃烧产物是水，因此，氢能是世界上公认的最洁净的能源。

制取的氢在常态下是气体，而且在空气中很容易燃烧。大量氢气在空气中燃烧，会引起爆炸。因此如何安全存储和运输氢，是氢能开发的关键之一。



英国物理学家詹姆斯 • 杜瓦

最普通的贮氢方法是高压气态储存法，就是利用瓶子将氢气储存起来。但由于氢气的密度小，0.5 千克的氢气要储存到特制的 40 升钢瓶里需要 150 个大气压。

对于固定地点的大量贮氢，比如制取氢气的工厂，可以采用地下贮存的方式，利用密封性好的气穴，采空的油田或盐窟等。这种方式只需花费氢气的压缩费用而不需要贮氢容器的投资，可以降低贮氢的费用，且比较经济、安全，但是要找到合适的地理条件，并研究出良好的地下封口方法。

由于发射火箭所需要的氢非常多，运用这种高压气态存储方法并不适合。于是科学家设想，如果有个方法能够把大量的氢气“变形”存储起来就好了。20 世纪初，英国物理学家詹姆斯·杜瓦（James Dewar）按照装开水的暖水瓶的原理（在铁壳里放一个双层之间真空镀水银的保温玻璃瓶），发明了储运液氢的高度真空绝热的“杜瓦瓶”，从而使低温液氢储存成为可能。

这种方法是将氢气冷至－252.72℃，使其变为液体。液态氢密度高，体积小，可以通过加压的方式将它们灌至特制的深冷杜瓦瓶中。这就是为什么要把火箭的燃料“装”进“暖水瓶”中储存的原因。



保存在英国皇家博物馆中的小型“杜瓦瓶”



美国“哥伦比亚”号航天飞机由火箭携带升空



NO.24 固体火箭发动机的燃烧室如何隔热?

固体火箭发动机（Solid propellant rocket engine）是使用固体推进剂的化学火箭发动机。又称固体推进剂火箭发动机。固体推进剂点燃后在燃烧室中燃烧，化学能转化为热能，生产高温高压的燃烧产物。燃烧产物流经喷管，在其中膨胀加速，热能转化为动能，以高速从喷管排出而产生推力。

固体火箭发动机主要由壳体、固体推进剂、喷管组件、点火装置四部分组成，其中固体推进剂配方及成型工艺、喷管设计及采用材料与制造工艺、壳体材料及制造工艺是最为关键的环节，直接影响固体发动机的性能。固体推进剂配方各种组分的混合物可以用压伸成型工艺预制成药柱再装填到壳体内，也可以直接在壳体内进行贴壁浇铸。壳体直接用作燃烧室。喷管用于超音速排出燃气，产生推力。



美国“米诺陶”固体燃料火箭

固体推进剂是由氧化剂、燃料（可燃剂）和其他添加剂组成的固态混合物，按配方组分性质可分为单基推进剂、双基推进剂、复合推进剂、改性双基推进剂等；按质地的均匀性分为均质推进剂（如单基、双基推进剂）和异质推进剂（如复合推进剂和改性双基推进剂）；按能量水平分为高能、中能、低能推进剂。



在固体推进剂燃烧时，燃烧室要承受2500℃～3500℃的高温，以及高压和高燃气流冲刷，工作环境十分恶劣，所以必须采用高强度合金钢、钛合金或复合材料制造，并在药柱与燃烧内壁间放置隔热材料层，以防止热量迅速传递给壳体，否则将导致金属壳体被烧穿，进而发生爆炸。

此外，固体火箭发动机的隔热材料在推进剂静态储存时期，又可防止推进剂的化学成分腐蚀金属壳体，提高储存期的稳定性和可靠性，从而延长有效储期。因此，隔热层应具备密度低、强度高、耐腐蚀、热导率低、耐冲刷和易于加工等特性。目前，固体火箭发动机的隔热层主要采用碳纤维复合材料制造。这种材料可用黏胶基碳纤维进行研制。

另外，采用黏胶基碳纤维的增强丁腈胶和酚醛树脂也是一种较好的隔热材料配方，这就是所谓的碳纤维增强橡塑复合材料。目前，全世界黏胶基碳纤维的产量约为100吨/年，主要用于包括火箭发动机、武器载荷在内的散热和隔热材料。



美国“德尔塔2号”运载火箭使用的GEM-40固体火箭发动机



使用GEM-60固体火箭发动机的美国“德尔塔4号”运载火箭点火升空



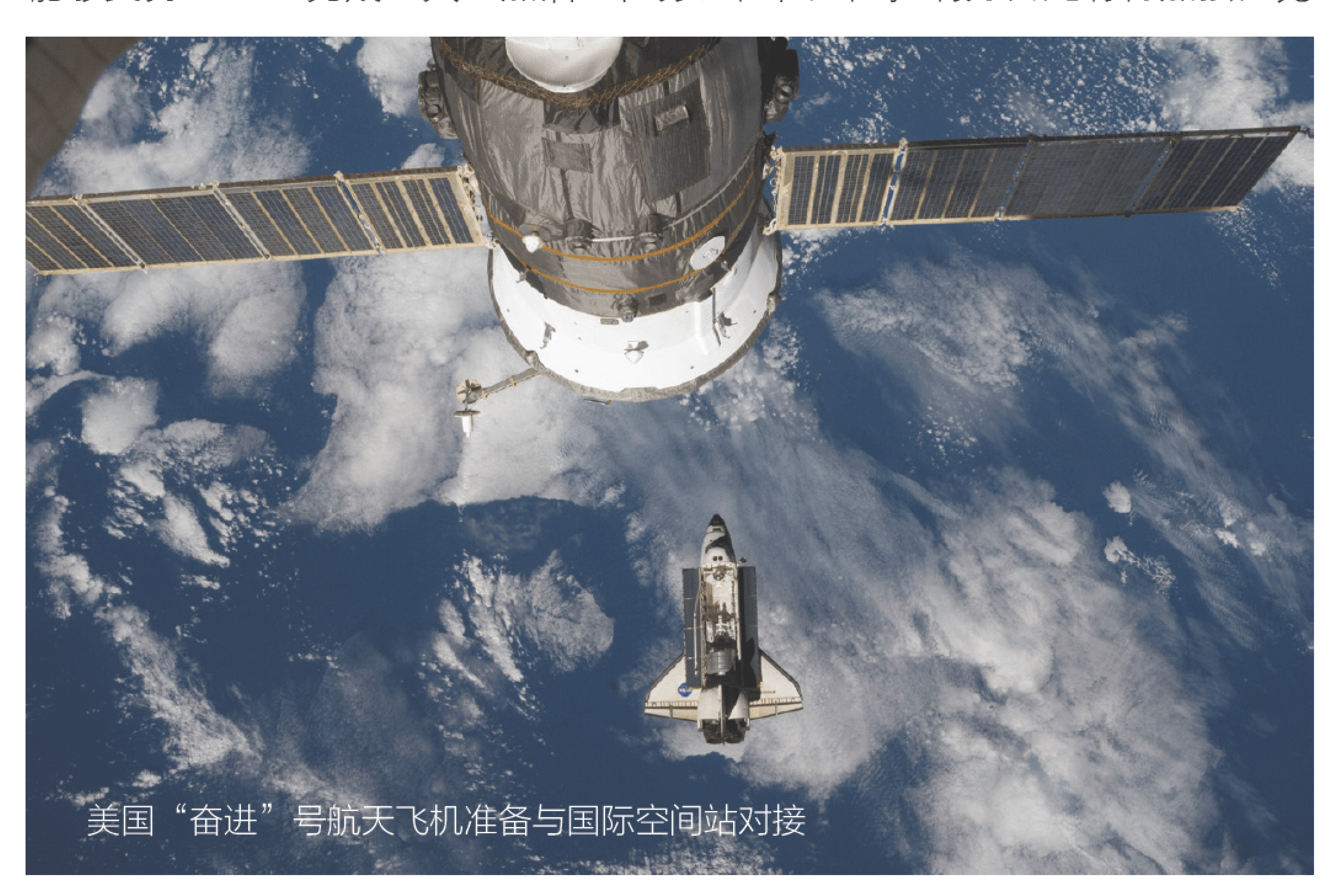
NO.25 美国正在发展的“太空加油”技术有何价值？

美国国家航空航天局（NASA）正在研究如何为在轨运行的卫星提供燃料加注服务，未来或将研制出燃料补给卫星，对其他卫星进行在轨燃料补给，以延长其服役寿命。

卫星的服役寿命取决于多种因素，一般情况下，科研人员在研制卫星时，卫星的设计寿命往往取决于它能够携带多少燃料。虽然卫星上都安装有太阳能帆板电池，但由于要长期在轨运行，卫星还是需要消耗燃料来进行轨道维持、误差修正、调整姿态以及应急变轨等动作。

当前，随着科学技术的不断成熟，卫星本身元器件的可靠性、性能已经达到一个相当的高度，而燃料却成为影响卫星服役寿命的重要瓶颈。如果燃料耗尽，卫星就无法继续在轨运行。轨道高度的降低将使得卫星逐渐坠入大气层烧毁，而有些卫星本身性能、元器件都完好无损，仅仅是因为燃料耗尽而无法维持其轨道高度，地面控制中心不得不将其放弃。因此，美国科研人员试图研究进行轨道燃料加注的相关技术，以便未来对燃料耗尽的卫星进行补给。

从技术层面上说，目前人类已经掌握的交会对接、空间机械臂等技术，能够支持 NASA 完成“太空加油”任务。但在风险控制方面还有待加强，尤


美国“奋进”号航天飞机准备与国际空间站对接

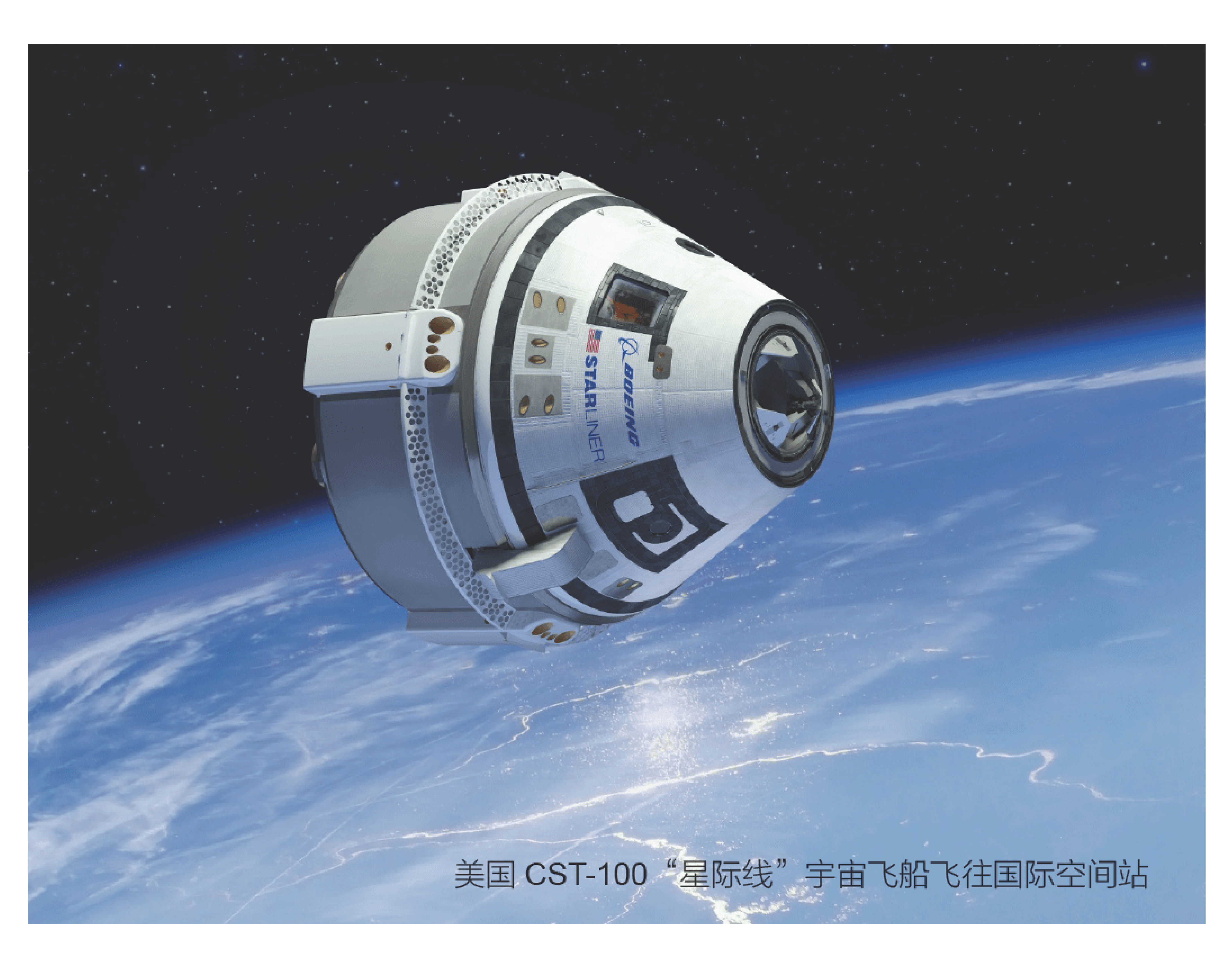


其是加注过程中容易发生泄漏等危险，如何避免这类危险，还需要进一步探讨。

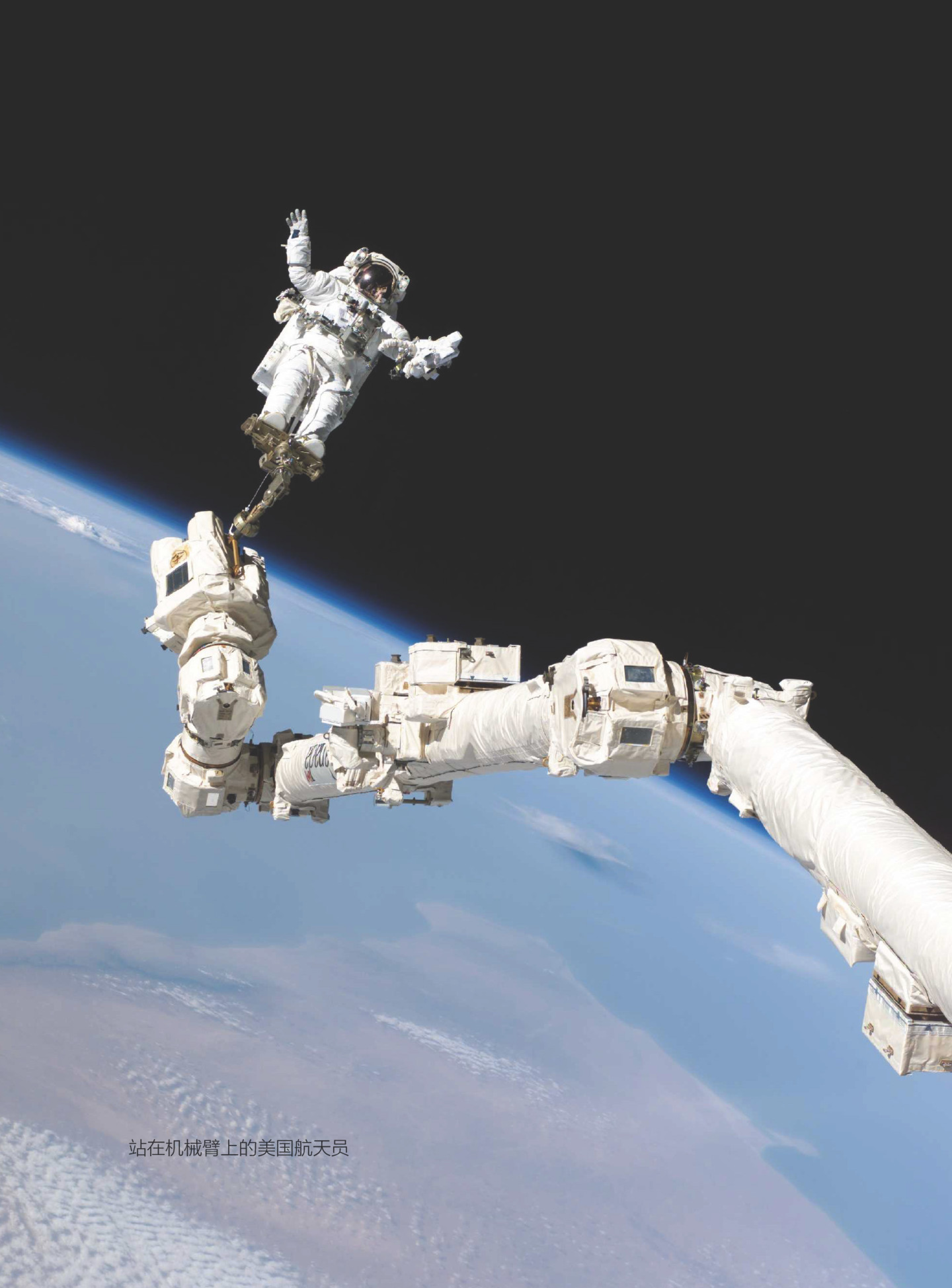
卫星上通常使用的氧化剂是四氧化二氮，它是一种非常危险的化学物质，有毒，也有腐蚀性，需要经过特殊的处理，在转移过程中需要非常小心，稍有不慎就会导致加注失败，甚至导致卫星失效。为了解决这一问题，美国科研人员已经进行了地面卫星燃料的转移测试。通过机器人测试了如何安全地转移氧化剂，全过程模拟了卫星所处的轨道环境，其中包括压力的流量，转移过程中需要与操作员等保持一定的安全距离。此外，美国科研人员还试图使用乙醇作为卫星燃料的替代产品。

值得一提的是，现在的卫星设计都是以一次性使用为前提的，补加燃料的可行性不大。今后的卫星如果需要进行在轨补加燃料，在设计之初就需要安装一套较为复杂的加注系统，这也会占用一定的卫星有效载荷。

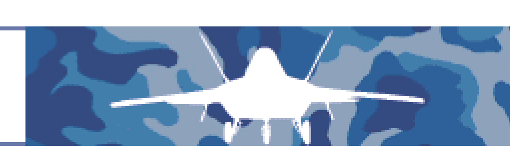
虽然目前“太空加油”计划看上去困难重重，但其未来的应用价值不可低估。卫星在轨燃料加注需要先进的自动交会对接系统、机械臂等捕获装置，该技术未来甚至可以为行星防御、大型轨道结构的安装等进行服务。“太空加油”技术一旦被广泛采用，将会对后续卫星、飞船等航天器的设计理念有所突破，太空开发的成本也将有效降低，同时还能有效减少太空垃圾的数量。



美国 CST-100“星际线”宇宙飞船飞往国际空间站



站在机械臂上的美国航天员

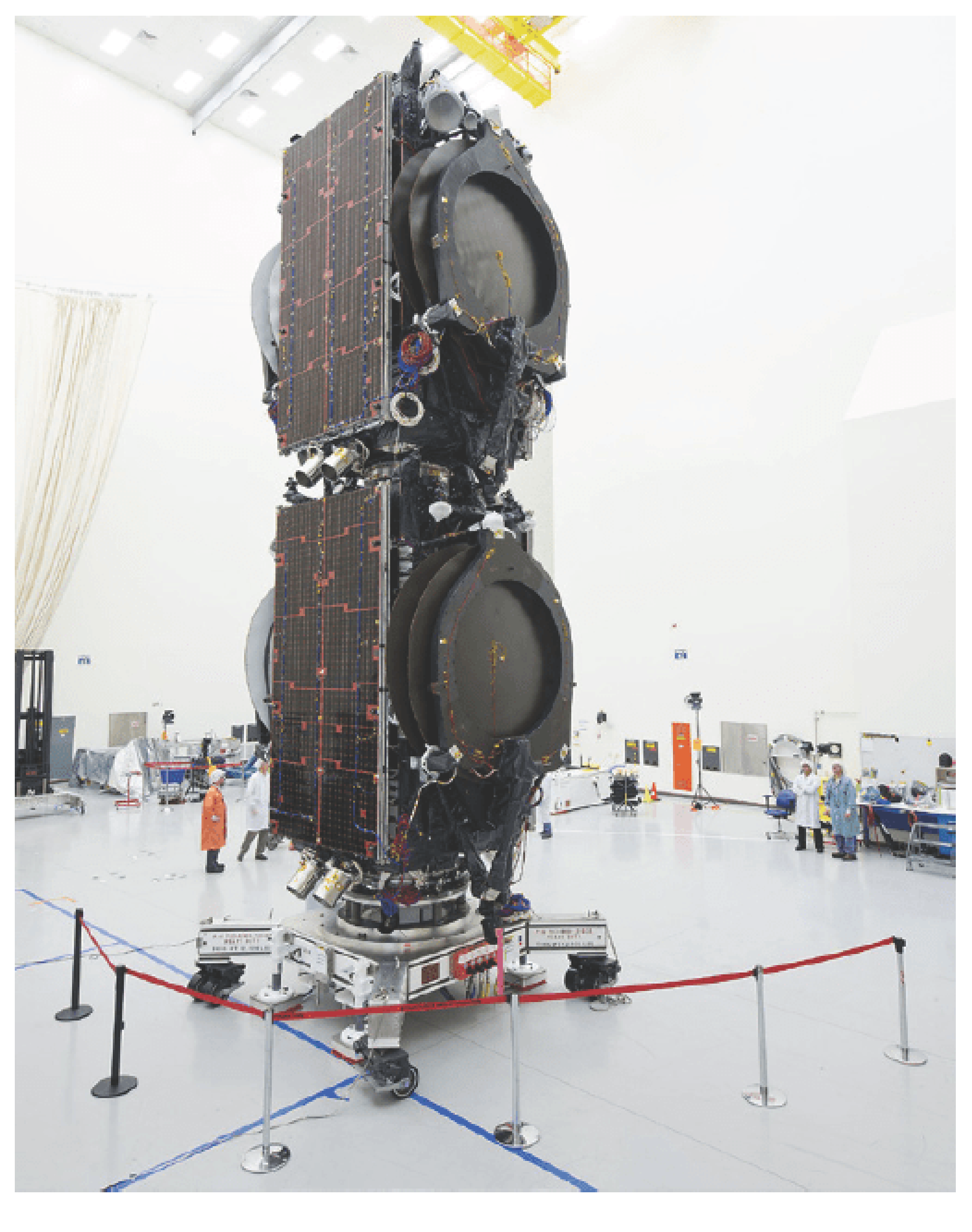


NO.26　火箭电推进系统与化学推进系统相比有哪些优势？

电推进系统，也称电火箭发动机，是一种不依赖化学燃烧就能产生推力的设备。它的突出优点是不再需要使用固体或者液体燃料，省去了复杂的储罐、管道、发动机燃烧室、喷管、相应冷却机构等，能大幅减少航天器的燃料携带量。如果电推进系统完全取代化学燃料发动机，还能极大地简化航天器设计，降低发生故障的可能。与化学火箭相比，电火箭的技术要求更高，目前能研制并应用电火箭发动机的只有美国、俄罗斯、欧洲航天局和日本等。

虽然电火箭发动机听起来是一个充满科幻色彩的话题，但追本溯源，它已经有 100 多年的历史了。电火箭发动机之所以没有像化学火箭一样被大范围应用，主要原因是它的推力太小。对于航天发射来说，目前还没有它的用武之地。但作为卫星、飞船、星际探测器的姿态、轨道控制的推力器，以及星际航行的动力，电火箭发动机的优势是无可比拟的。因此，航天界也从来没有忘记电火箭发动机，一直在设法让它实用化。经过几十年的发展，人们提出了多种电火箭原理，其中最成功的是离子和等离子推力器。此外还有人提出过其他类型的电火箭，例如光子推进、质子真空等离子推进、电磁推进等。

目前，电推进系统已经在星际航行中证明了自己的性能与可靠性。例如，2003 年 5 月 9 日，日本发射了“隼鸟”号小行星探测器。“隼鸟”号在两年多的飞行期间，一直使用氙离子发动机航行。直到 2005 年 8 月 28 日接近小行星，“隼鸟”号的离子发动机已经累计工作了 25800 小时，产生了 1400 米 / 秒的速度增量，消耗氙气 22 千克。在完成采样并回航时，“隼鸟”号的几个化学燃料姿态推力器全都发生故障，只能依靠离子发动机。

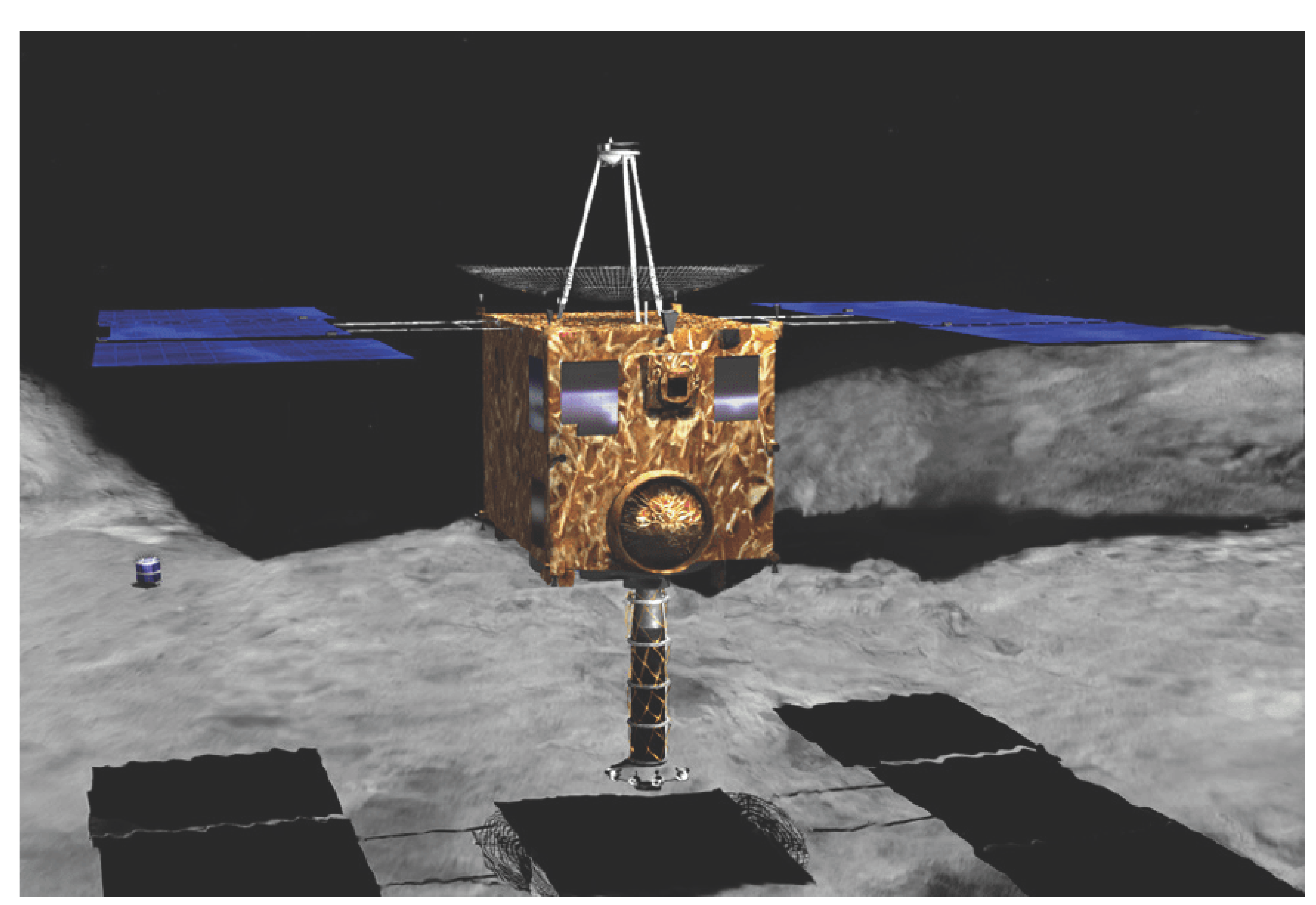


“欧洲通信 -115 西 B”卫星

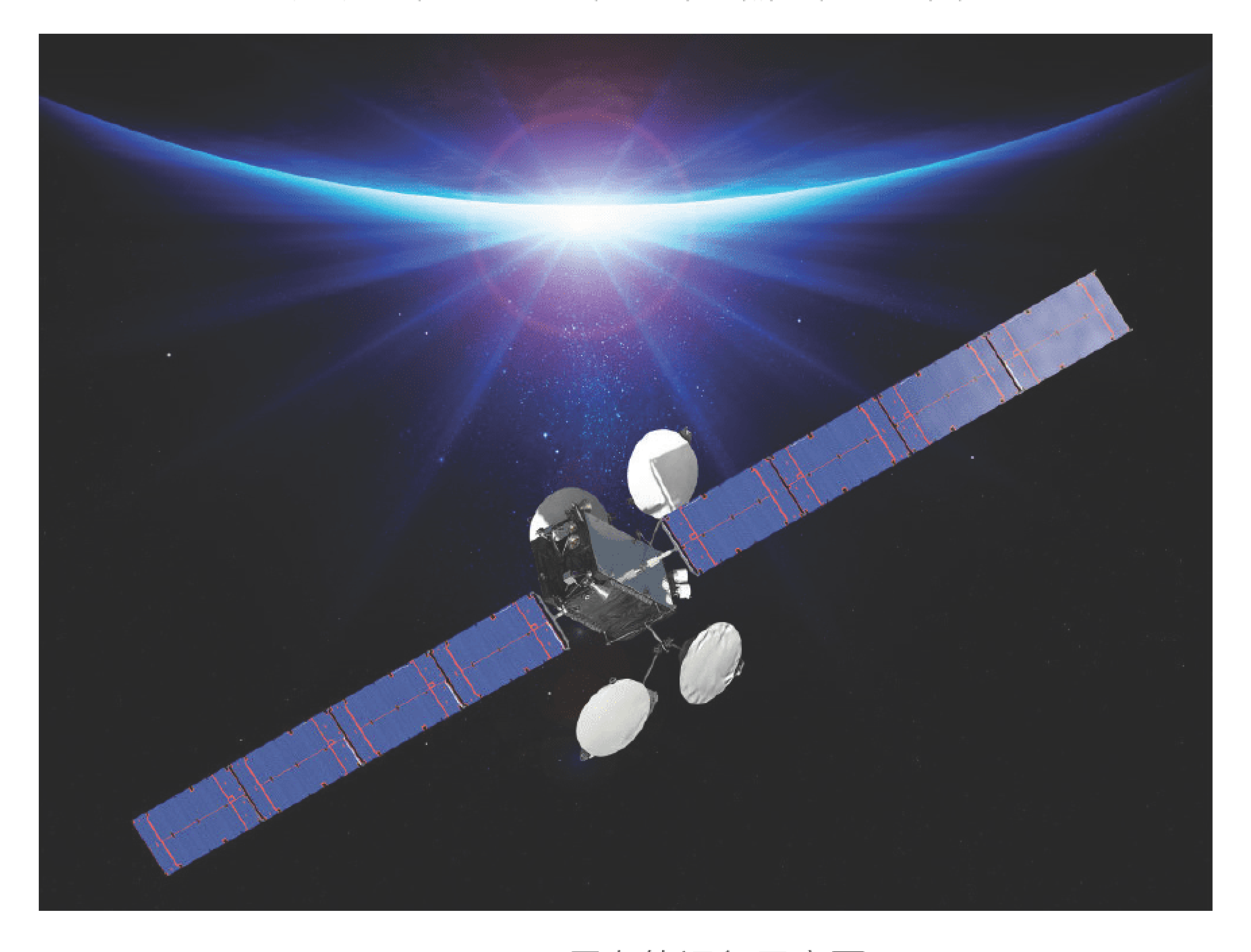
2015 年，欧洲卫星公司的“欧洲通信 -115 西 B”（Eutelsat-115 West B）卫星和亚洲广播卫星公司的 ABS-3A 卫星发射入轨。这两颗卫星都是美国波音公司协助研制的全电推进卫星，它们在 702 大型平台上全面改用了电

推力器，因为取消了化学燃料和化学发动机，重量大幅度下降到原来的一半左右，可以用中型火箭一箭双星发射。这意味着用户只需花费过去一半的钱就能发射卫星，对国际通信卫星市场造成了相当大的冲击。

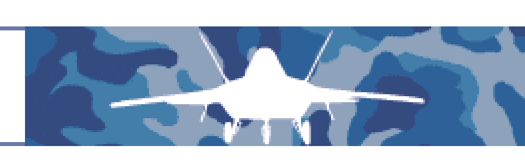
未来，深空探测等空间活动将继续成为众多航天技术的推动力，为了完成现在和未来的空间任务，电推进系统将会得到不断的完善，并发挥其独特的优势。



日本“隼鸟”号小行星探测器运行示意图



ABS-3A 卫星在轨运行示意图





NO.27 运载火箭主要有哪些发射方式?

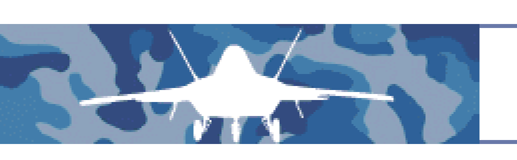
运载火箭（Rocket Launcher）用于把人造卫星、载人飞船、空间站或行星际探测器等送入预定轨道。目前，运载火箭的发射大致有三种方式：一是从地面固定发射场发射，二是从空中发射，三是从海上平台发射。

早先，运送航天器的运载火箭都是从地面发射场发射的。这种发射场有的规模很大，设施齐全，可以发射多种型号的运载火箭。但地面发射场受地理位置等种种因素的制约，限制了航天器的发射范围，难以满足各种类型航天器的需求，于是出现了从空中发射和从海上平台发射运载火箭的方案。

1986 年，美国轨道科学公司总工程师伊莱亚斯提出了从空中发射“飞马座”运载火箭的设想。从空中发射是用飞机将运载火箭运送到高空后，再将火箭释放，火箭在空中点火飞向预定轨道。采用这种发射方式，飞机可以在不同地点的机场起飞，飞到地面上空任何地点发射，它将不受地理位置的限制。这样，不仅增加了发射窗口的机会，而且还能扩大轨道倾角的范围，因而具有很大的灵活性。从空中发射，地面辅助设备较少，发射操作简单，易于解决发射时的安全问题。从空中发射，载机相当于运载火箭的基础级，所以能提高运载火箭本身的运载能力，同对等的从地面发射的运载火箭相比，运载能力几乎可以提高一倍。由此可见，从空中发射运载火箭具有很多有利



展览中的“飞马座”运载火箭



因素，也具有很大的发展潜力。

美国“飞马座”运载火箭是一种三级固体有翼火箭，全长 15.5 米，起飞时重约 18.9 吨。它可以将 400 千克左右的小型卫星送入近地轨道，也可将 270 千克左右的卫星送入 720 千米的极轨道。1990 年 4 月 5 日，美国首次进行了“飞马座”火箭发射试验。当时，美国使用改装的 B-52 轰炸机，将“飞马座”火箭送至 1.3 万米高空；然后将其释放，经 5 秒钟，火箭下降了近 100 米；接着，“飞马座”火箭开始点火，9 分多钟后，它将一颗重 191 千克的卫星送入 584 千米、倾角为 94 度的极轨道，首次发射试验获得了成功。

与地面发射场相比，从海上平台发射运载火箭同样具有多种优势。首先，可以灵活选择发射地点，当选择在赤道附近海域发射时，能充分借助地球的自转速度，提高运载火箭的运载能力；其次，在海上发射时，周围没有居民点，火箭落区的选择范围较大，从而可使多级火箭的设计更加优化，进一步提高火箭的运载能力；此外，发射地区的安全问题、污染问题也可降到最低限度。

1995 年，俄罗斯、美国、乌克兰、挪威等国的几家公司经过充分的调查研究和可行性论证之后，决定成立一家跨国股份公司，建造一个主要由一座海上石油开采平台改装的海上发射平台和一艘指挥控制船组成的海上发射场。1999 年 10 月 19 日，乌克兰研制的“天顶 3 号”运载火箭在海上平台首次进行了商业发射，顺利地将美国一颗重达 3.45 吨的直播电视卫星送入预定轨道。



携带“飞马座”运载火箭的喷气式飞机



“天顶 3 号”运载火箭及其海上发射平台

“天顶 3 号”运载火箭从海上平台发射

 NO.28　一箭多星需要克服哪些技术难题？

一箭多星，即用一枚运载火箭同时或先后将数颗卫星送入地球轨道的技术。一箭多星是一种优越的发射方式，如果在近似同一地球轨道上，需要两颗以上卫星，彼此相隔一定距离，互相配合地进行一种探测，那么一箭多星就是首选的发射方式。

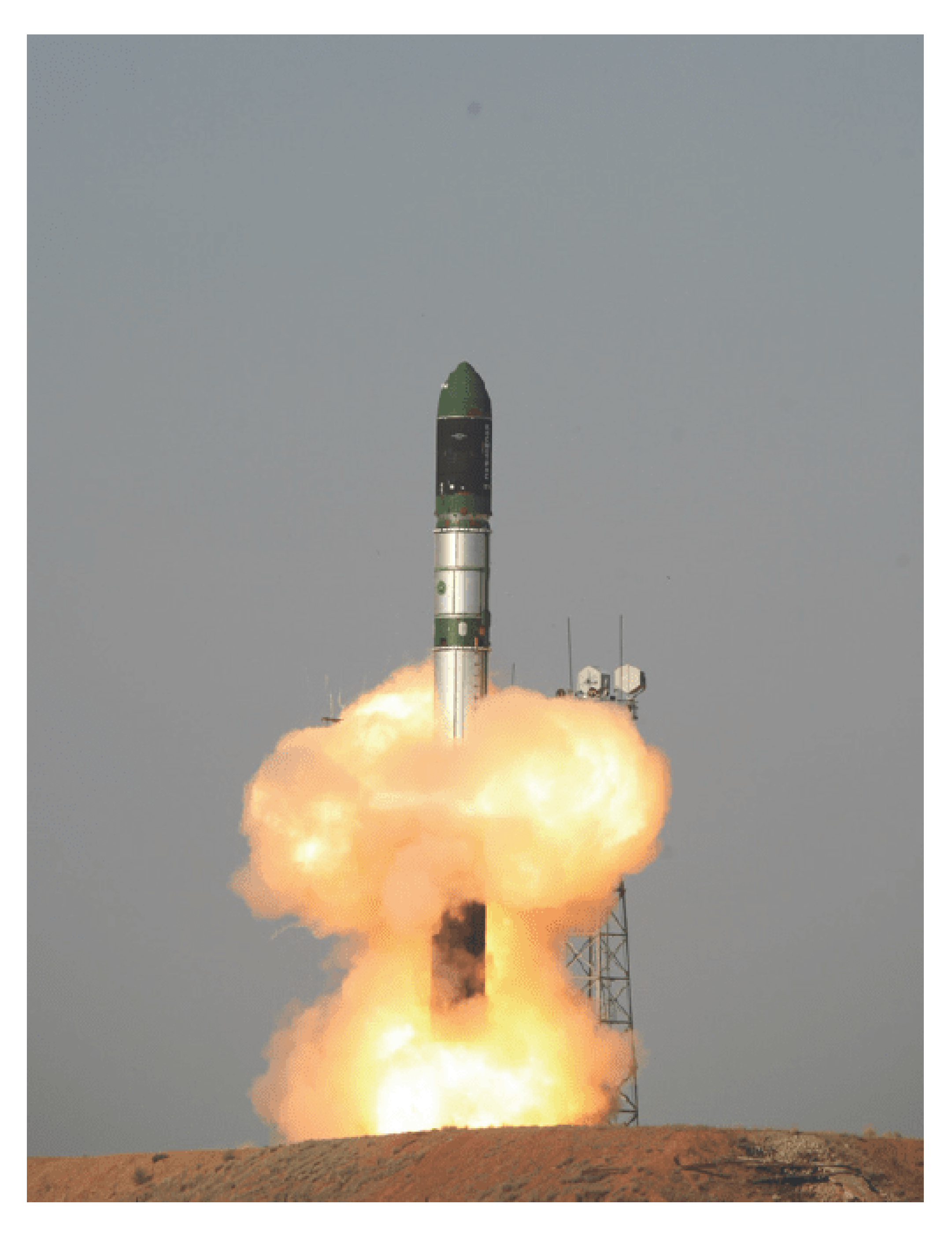
一箭多星的发射成功，标志着运载火箭能力的提高，标志着分导核弹头、发射技术和火箭与卫星分离技术上的新突破。一箭多星技术可以充分利用运载火箭的运载能力余量，经济便捷地将多颗卫星送入地球轨道，尤其是对微小卫星的发展而言更加重要。

最早实现一箭多星的国家是美国。1960 年，美国首次用一枚火箭发射了两颗卫星，1961 年又实现了一箭三星。接着，苏联多次用一枚火箭发射多颗卫星。除美国和俄罗斯外，掌握了一箭多星技术的还有欧洲航天局、印度、日本等。

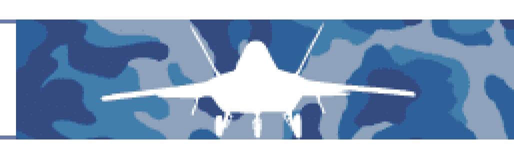
在国际上，一箭多星的发射常用两种方式。第一种是把几颗卫星一次送入一个相同的轨道或几乎相同的轨道上；第二种是分次分批释放卫星，使每



俄罗斯“联盟”号运载火箭
进行一箭多星发射



俄罗斯“第聂伯”运载火箭
进行一箭多星发射



一颗卫星分别进入不同的轨道。

也就是说，运载火箭达到某一预定轨道速度时，先释放第一颗卫星，使卫星进入第一种轨道运行，然后火箭继续飞行，达到另一种预定的轨道速度时，又释放第二颗卫星，依此类推，逐个把卫星送入各自的预定运行轨道。

为了实现一箭多星，需要解决许多技术。首先是要提高火箭的运载能力，以便把质量更大的数颗卫星送入轨道。其次是需要掌握稳定可靠的“星 - 箭分离”技术，做到万无一失。运载火箭在最后的飞行过程中，卫星按预告设计的程序从卫星舱里分离出来，不能相互碰撞，还需选择最佳的飞行路线和确定最佳分离时刻，使多卫星在各自的轨道上运行。

另外，还必须考虑火箭运载卫星以后，火箭结构角度和重心分布发生变化，会使火箭在飞行中难以稳定，多卫星和火箭在飞行中，所载的电子设备可能会发生无线电干扰等特殊问题。从技术上说，一枚运载火箭发射多种不同轨道的卫星是比较复杂的，且不容易掌握。

印度空间研究组织进行一箭多星发射



NO.29　火箭和航天器的发射窗口如何确定?

所谓发射窗口，其实就是允许火箭和航天器发射的时间范围，这个范围的大小也叫作发射窗口的宽度。窗口有宽有窄，宽的以小时计，甚至以天计，窄的只有几十秒。对于航天器而言，发射窗口的选择至关重要。

发射窗口的类型

航天器的发射窗口一般有三种类型，分别是年计窗口、月计窗口、日计窗口。

年计窗口即确定某年中连续允许发射的月份，适用于行星际探测任务，如发射哈雷彗星探测器。月计窗口即确定某个月内可以连续发射的天数，适用于行星和月球探测任务，如发射月球探测器、载人火星探测等。日计窗口即确定某天内可以发射的时刻范围，适用于卫星、飞船和空间站等航天器的发射。

选择年计和月计发射窗口，主要是考虑星体与地球的运行规律，目的是节省发射能量；选择日计发射窗口需要考虑的因素就比较多，通常有：航天器与运载火箭对发射环境条件的要求，测量控制系统中各种测控设备对发射时段的要求，技术服务系统（如通信、时间统一等）对最佳和最不利发射时



美国“阿特拉斯 5 号”运载火箭点火升空



美国“米诺陶 4 号”运载火箭点火升空



段的制约，运载火箭的飞行航区对气象的要求，航天器入轨后必须最大限度地吸收太阳的能量等。

实施航天器发射时，不能只计算一个发射窗口，可能要同时计算两种或三种发射窗口。无论哪种发射窗口，事先都要选择几个，以供发射指挥员机动决策。对于一般卫星和导弹的发射，只需选择日计发射窗口。对于发射星际探测器（如彗星探测器）、宇宙飞船、太空站和航天飞机等，通常要同时选择年计、月计和日计发射窗口。但航天器最终的发射时间总是由日计发射窗口确定的。

对运载火箭本身来说，没有太严格的发射窗口限制，什么时间发射都可以。不过，在进行运载火箭发射试验时，为了使反射阳光的箭体与背景天空形成较大的反差，跟踪测量和观察效果比较好，一般多选在傍晚或黎明前发射。

发射窗口的要求

（1）地面观察的需要。早期卫星发射多采用光学望远镜进行跟踪观测，因此需要有良好的观测条件。另外，人造卫星绕地球轨道运行，由于观测站不可能遍布全球，各发射国只能利用自己的少量观测站对卫星实施测控，这就要求卫星在经过观测站附近时便于观测。

（2）地面目标光照条件的要求。发射照相侦察卫星、地球资源卫星和中轨道气象卫星时，为了便于卫星上可见光遥感器能很好地遥感地面的图像，



美国“猎鹰”重型运载火箭点火升空

卫星运行轨道下方的地面目标必须有良好的光照条件，因此，这类航天器的发射窗口都选在白天。

（3）航天器上太阳能电池光照条件的要求。目前的卫星及载人飞船等航天器大多采用太阳能电池供电。当航天器进入轨道时，需要太阳电池板受到最佳阳光照射，以便立即发电供航天器使用。

（4）航天器上姿态测量设备的要求。航天器进入轨道后，需要利用航天器上的姿态测量设备（如红外地平仪，太阳敏感器等）测量航天器的飞行姿态，以便调姿，并进入稳定的飞行姿态。航天器上的姿态测量设备工作时，需要航天器、地球和太阳处在一个较好的相对位置，这时测量航天器的飞行姿态精度较高。所以这也是选择发射窗口要考虑的一个因素。

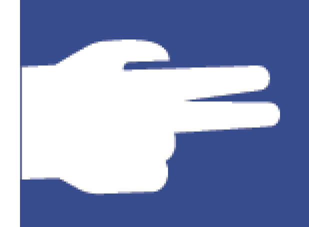
（5）航天器返回地面时的要求。返回式卫星、航天飞机、载人飞船返回地面时，需要及时搜索到卫星和航天员，将他们安全地送回目的地，这对发射窗口的选择是一个极为重要的因素。一般都希望在白天返回，同时要求气象条件较好，没有大风等恶劣天气，以便于降落伞打开，因此在选择发射窗口时需要考虑返回时的情况。

（6）空间交会的需要。一些特定用途的卫星和深空探测器专门用于对天体的观测，如空间交会的航天器、彗星探测卫星、太阳观测卫星、火星探测器、木星探测器等需要以最短时间、最高精度与其他航天器或被观测天体会合，这也需要选择合适的发射窗口。另外，静止卫星准确定点，尽可能少地消耗推进剂也需要选择发射窗口。由于太阳、地球和其他星体的相对位置在不断变化，即使发射同一类型、同一轨道的航天器，其发射窗口也是不固定的。

选择发射窗口，是一个复杂系统的综合决策问题。某一次发射总有一些主要的制约条件，它们在发射窗口的确定中起决定性作用。发射窗口是由保证运载火箭发射成功所需技术要求决定的。从理论上讲，为确保发射顺利进行，应确保参与发射的各项设备均处于最佳技术状态。

但由于参与发射的设备很多，实际上是很难做到这一点的，因此，通常都先由发射控制系统、地面测控系统、通信与时间统一系统，以及气象保证系统等几个与发射关系最大的系统各自根据自己的情况分头确定，然后由发射部门进行综合分析，根据不同发射时段对实现发射目的的影响和程度，排出综合的最佳发射窗、较好发射窗口和允许发射窗口。最后，由发射的指挥者。

欧洲航天局“阿丽亚娜 5 号”运载火箭点火升空



NO.30 运载火箭正式发射前需要进行哪些地面试验？

运载火箭是一种复杂的飞行器。组成运载火箭的分系统很多，设计过程中涉及的学科和技术领域很广，生产过程中应用的原材料、元器件种类繁多，地面操作和飞行过程中经历的环境变化也很大。在运载火箭发射、飞行过程中，某个系统、组件、元器件一旦由于设计不当、质量不好或不适应环境变化而发生故障或失效，就会造成运载火箭发射失败甚至带来灾难。因此，运载火箭研制过程中，在地面必须充分地进行各种各样的试验。通过试验发现设计上的不足，生产中的缺陷，原材料、元器件质量上的隐患，环境变化引起的变异等不可靠因素，以便事先采取措施予以排除，提高运载火箭发射时的成功率。

运载火箭的地面试验按试验的性质和目的来分，可分为研制性试验（方案性、原理性试验）、鉴定验证性试验、产品质量验收性试验、系统之间协调性试验、可靠性试验、寿命试验和环境适应性试验（如高低温试验、淋雨试验、公路和铁路运输试验、雷击试验等）；按试验对象来分，可分为元器件试验、组件和单机试验、分系统试验、分系统之间综合试验和全系统试验等；

按试验手段、试验方式来分，可分为仿真试验、半实物仿真试验和实物试验等。

运载火箭的地面试验项目很多，且工作量大，所需试验设施种类多、规模大、费用高。但地面试验是运载火箭研制中不可缺少的一个环节，如果简化或省略，往往会因小失大，给研制工作带来不可弥补的损失。不同类型的运载火箭，其试验内容和目的不完全相同。一般来说，运载火箭的主要试验项目与内容有以下几项。



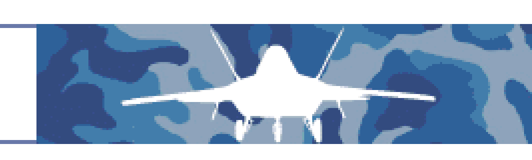
美国“阿特拉斯 5 号”运载火箭被运往发射场

（1）气动性能试验（又称风洞试验）。它是在可行性论证和方案设计阶段，用运载火箭的缩比模型在不同类型、不同风速的风洞中吹风，测量火箭总体或某一部段的气动特性参数，为运载火箭总体方案设计和载荷计算、气动热环境计算、控制系统方案设计和防热结构设计等提供依据。

（2）箭体结构试验。它是在方案设计和初样设计阶段，为验证箭体结构设计的合理性与结构分析的正确性，对组成箭体的各个部段、组件的模样件或初样产品进行单独的或联合的试验。箭体结构试验包括静强度试验、动特性试验和热试验。静强度试验用来测定和研究箭体在静载荷作用下的应力——应变特性、变形情况和承载能力。动特性试验包括振动、冲击、噪声、液体推进剂在贮箱中的晃动，火箭发动机、推进剂输送系统与箭体结构之间的纵向耦合振动等试验，用来研究和分析箭体结构的基本动力特性和在各种动力环境下结构的耐受能力。热试验用来研究箭体结构在外载荷和热环境联合作用下的结构强度和刚度。

（3）发动机试车。发动机试车是工作量很大的一项地面试验，分模样发动机可行性验证试车、初样发动机性能和结构方案试车、试样发动机鉴定试车和批生产发动机验收试车等。一台性能稳定、工作可靠的发动机是在大量的各种类型的地面试车情况下研制出来的。

（4）电子系统综合匹配试验。运载火箭上的各电子系统在箭上同时通电工作的情况下，系统本身的工作是否正常，系统间的工作是否协调、有无



相互干扰，需要在地面把各系统放在一起进行联合通电试验。通过地面的综合匹配试验协调各系统的工作程序，排除各系统之间可能产生的干扰，并为最终制定运载火箭的测试和发射程序提供依据。

（5）全箭振动试验（又称火箭动力特性试验）。在初样设计阶段，做全尺寸的振动试验。火箭在振动试验塔中对火箭进行横向和纵向的振动特性试验，测量火箭箭体的振型、固有振动频率和结构阻尼系数等动力特性参数，为箭体结构、动力装置系统、姿态控制系统和载荷计算提供设计依据。

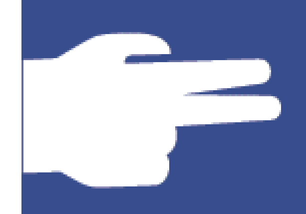
（6）全箭试车（又称全箭全系统热试车）。运载火箭飞行试验前，用与飞行试验火箭状态基本一致的试车火箭在地面全箭试车台上进行火箭全系统工作的热试车，测量在火箭发动机工作的情况下，箭体各部分的动力环境参数；检验箭上其他系统与动力装置系统工作的协调性。全箭试车时，箭上各系统的工作程序与飞行试验时完全一样，并由箭上系统自主进行。

（7）火工装置试验。火工装置是运载火箭上广泛采用的一种装置。这种装置利用火药的能量，通过设计的功能机构，完成运载火箭发射和飞行中所需的一些特定动作与功能，如发动机的点火、动力装置系统阀门的开启或关闭、火箭飞行姿态的控制、多级火箭级与级之间的分离、整流罩的分离、安全系统爆炸装置的引爆和爆炸等。火工装置工作的可靠与否，将直接影响运载火箭飞行的成败，因此，在地面必须对火工装置进行极为严格的试验。其试验的内容有：性能试验、鉴定试验、环境试验（如高低温试验、湿热试验、振动冲击试验、电磁环境试验等）和可靠性试验等。


美国“德尔塔 4 号”运载火箭准备发射


美国“猎鹰”重型运载火箭准备发射


俄罗斯“质子 M”运载火箭准备发射


NO.31 美国和俄罗斯两国的火箭发射塔有何区别？

火箭发射塔的主要作用是为发射台上的火箭通过脐带进行燃料加注，以及提供技术人员在发射台上为火箭做最后的检测或送航天员进入火箭整流罩的飞船内的平台。

美国最典型的火箭发射塔构是一个巨大的塔状结构提供最基本的接口服务或燃料加注服务。有时也有一个可移动式发射塔，提供人员上塔进行检测等功能。美国之所以采用这样的设计风格，是因为他们不太需要在发射塔上



做别的事情，因为当火箭竖立起时，其装配已基本完成。

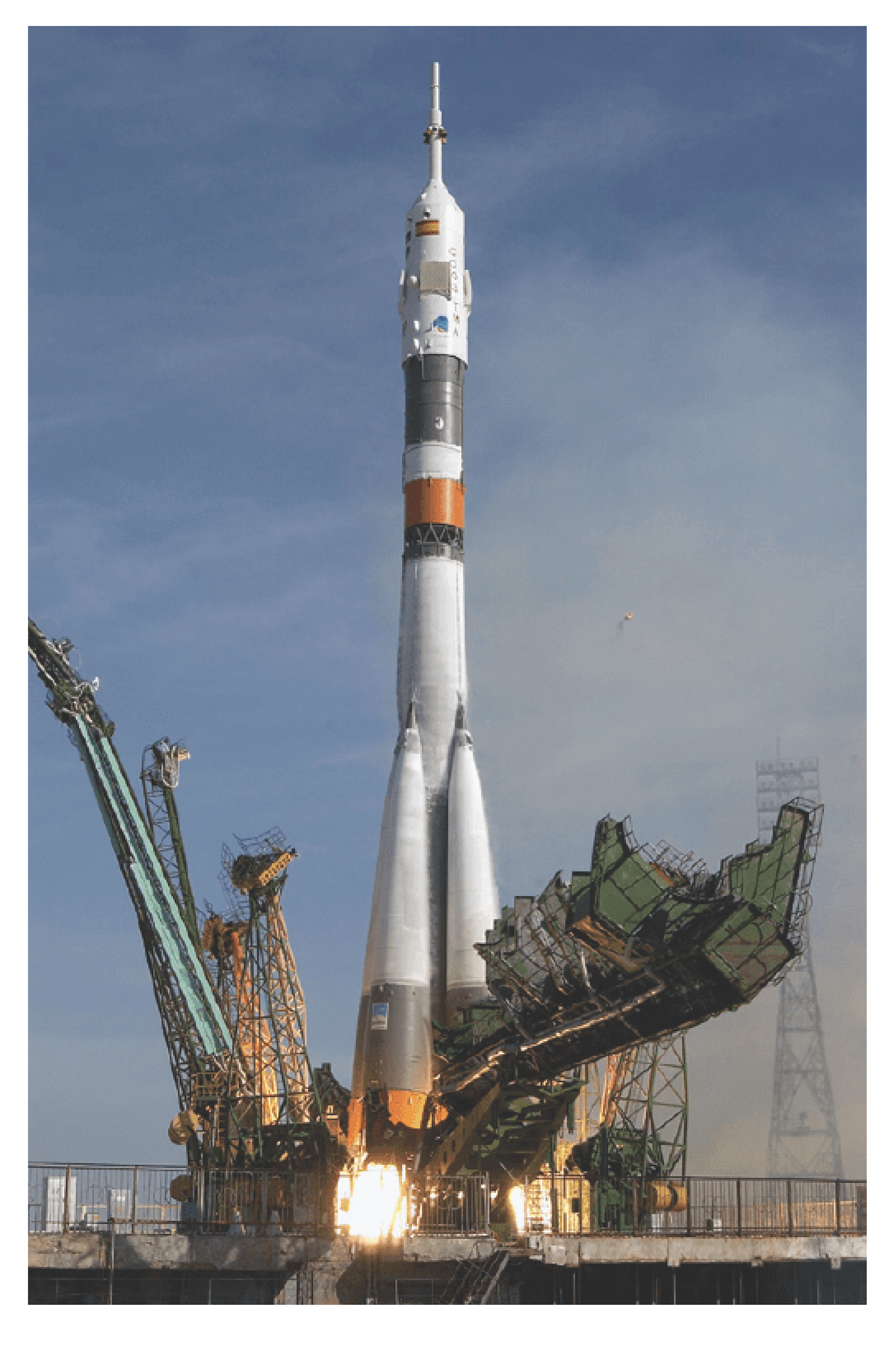
目前，美国更多的是在一个垂直装配大楼里将火箭预先装配成竖起的形式，然后通过专用的运输车垂直运输到发射台上。因此，发射塔只需要提供最基础的服务就可以了，因此设计得十分简单，有时简单得甚至只需要一根杆子就可以发射火箭。



美国“猎鹰”重型运载火箭及其发射塔

与美国相比，俄罗斯的运载火箭从来不使用垂直装配大楼，火箭一般在普通的厂房里水平装配好，然后用火车拉到发射场进行发射。由于俄罗斯的液压设备技术比较先进，所以俄罗斯在发射火箭时会额外多出一个巨大的液压臂，将发射场的运载火箭垂直竖立上发射台。如此一来，原本在火箭发射工位上的固定式发射塔就被设计得非常简单。

俄罗斯采用这种发射方式的好处较多，其原因是水平装配火箭的成本比使用垂直装配更低，而且节省时间，甚至可以同时在一个厂房里装配两枚运载火箭。此外，这种发射方式还有一个优势：如果火箭在发射时出现事故，它的备份只需要几天的准备时间就可再次进行发射。目前，很多欧洲国家也在借鉴俄罗斯的发射方式。



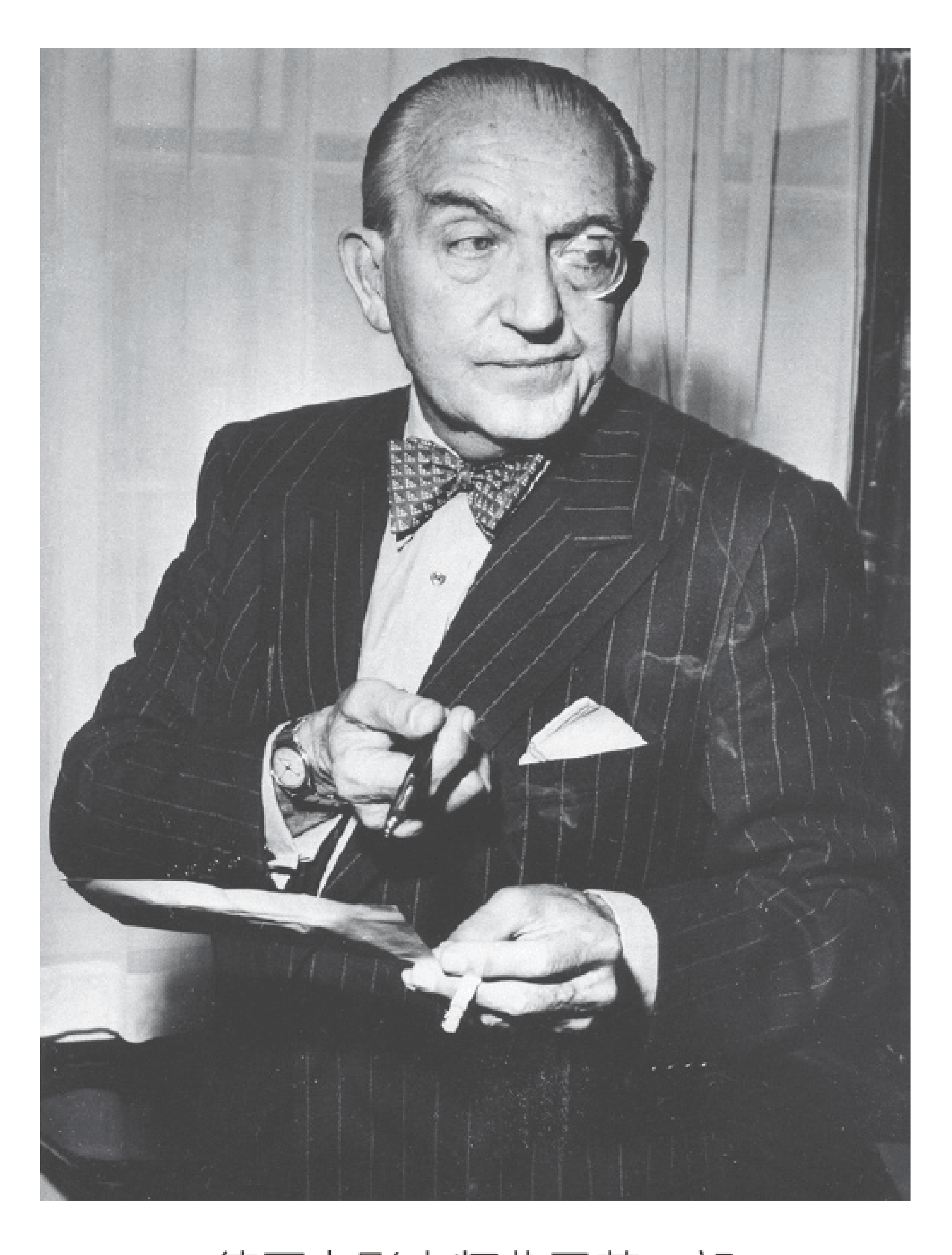
俄罗斯“联盟 FG”运载火箭及其发射塔

当然，俄罗斯也有采用混杂设计的火箭发射塔，例如，位于法属圭亚那库鲁航天中心的“联盟 2 号”火箭，其发射工位就同时提供了俄式风格的发射塔和美式风格的可移动垂直装配大楼。


美国“米诺陶 5 号”运载火箭及其发射塔



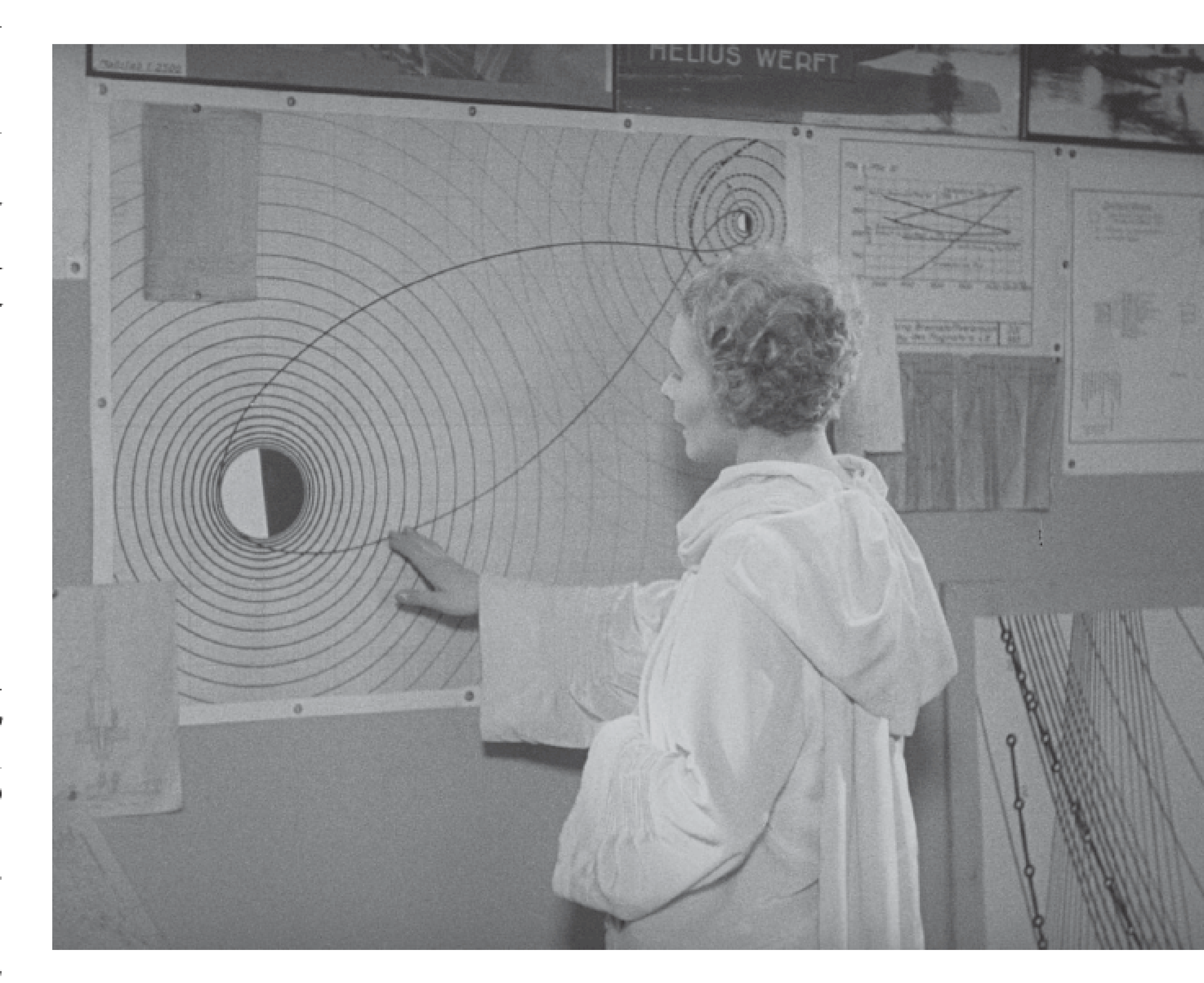
NO.32　火箭发射采用倒计时的原因是什么？


德国电影大师弗里茨 • 朗

火箭发射时使用倒计时并非科学家的发明，而是源自科幻电影的创举。1929 年，德国电影大师弗里茨 • 朗（Fritz Lang）在其执导的科幻电影《月里嫦娥》（Frau im Mond）中，向观众首次呈现了一枚登月火箭发射升空的全过程。由于影片中火箭发射前运送至发射平台的过程冗长，为吸引观众的注意力，营造“时间紧迫”的戏剧性气氛，电影特别安排了主人公在为火箭点火之前读秒倒计时的情节：随着屏幕上数字越来越小，其字体越来越大，直至巨大的“JETZT”（现在）出现，火箭腾空而起，升入云霄。



倒计时这一情节设置，此后逐渐成为各类电影制造紧张氛围的有力工具，甚至可与定时炸弹这一传统电影道具相媲美。但真实的火箭发射也使用倒计时，并不是单纯向电影致敬，而是具有实用意义。



科幻电影《月里嫦娥》剧照

火箭发射时使用倒计时，真正的作用在于确认火箭发射的时间零点。如果把从火箭移上发射架到任务完成的整个过程以时间轴为数轴的话，那么发射的时刻就可以作为数轴的零点，或被命名为 T0。T0 时刻对于轨道计算十分重要，当火箭发射时，T0 时刻就会自动传输到所有的测控站。而在火箭发射前的任务规划中，在发射窗口（任务最佳发射时间）内确认 T0，并确定发射前（用 T－×× 时间表示）、发射后（用 T＋×× 时间表示）的程序设置，是整个规划的重中之重。

在规划完成后，负责火箭发射的所有部门就从 T0 倒推各项工序和部件的完结时间，并按各部门各自的归结时间继续前推。随后，火箭发射的各个部门在完成其任务时从数月、数周、数天开始不断归结，到发射前的数小时、1 小时、30 分钟、15 分钟、5 分钟、1 分钟……直至指令员宣读 T0 之前的最后十个数，将全体工作人员的任务归结以最极端、最为具象的方式表现出来，这才是火箭发射倒计时的最完整体现。


美国“德尔塔 4 号”运载火箭点火升空

各国在火箭发射倒计时的具体设置上也是有差别的。例如，中国的火箭倒计时是点火倒计时，也就是以火箭点火时刻作为 T0；而美国的火箭则是采用起飞倒计时，也就是以火箭起飞时刻作为 T0。

造成这种差别的原因是，中国并未采用美国普遍使用的牵制释放装置，火箭起飞与否全凭发动机的推力；而各个发动机的动作也不完全同步，这样使火箭的起飞时间无法人工控制，所以只能倒计时点火，然后测量起飞时间。

与之相对的，采用牵制释放装置的美国火箭起飞前被锁在发射台上，在起飞前的几秒点火，牵制释放装置会在火箭达到额定推力时解锁放飞火箭，火箭起飞的时间即为 T0。由于牵制释放装置允许各个发动机在火箭静止状态下工作一小段时间，它可以消除不同发动机间推力不同步的影响，从而更精确地控制时间。

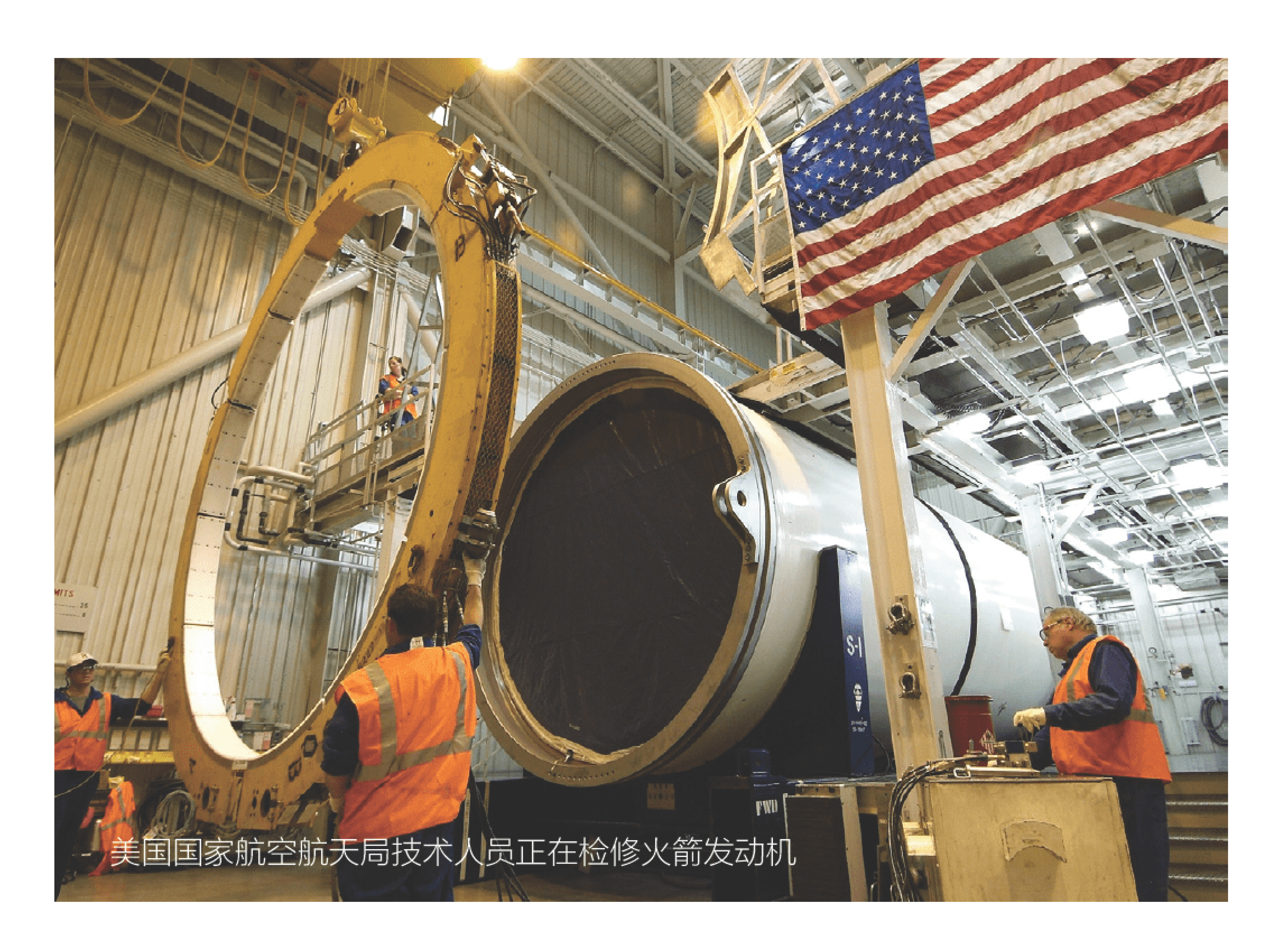


美国“德尔塔 2 号”运载火箭点火升空

NO.33 运载火箭发射过程中经常出现哪些故障？

运载火箭是一种特殊的飞行器。它由多个分系统的成千上万个零组件、元器件组成；通过多个设计单位、生产单位大协作研制而成；在地面运输、发射操作和飞行过程中要经历复杂的环境变化；火箭上众多的电子设备之间存在相互影响与干扰；目前的运载火箭都是无人直接操纵的飞行器。因此，在运载火箭发射飞行的过程中，由于某个零组件、元器件失效或误动作而导致发射失败的事故屡见不鲜。




美国国家航空航天局技术人员正在检修火箭发动机

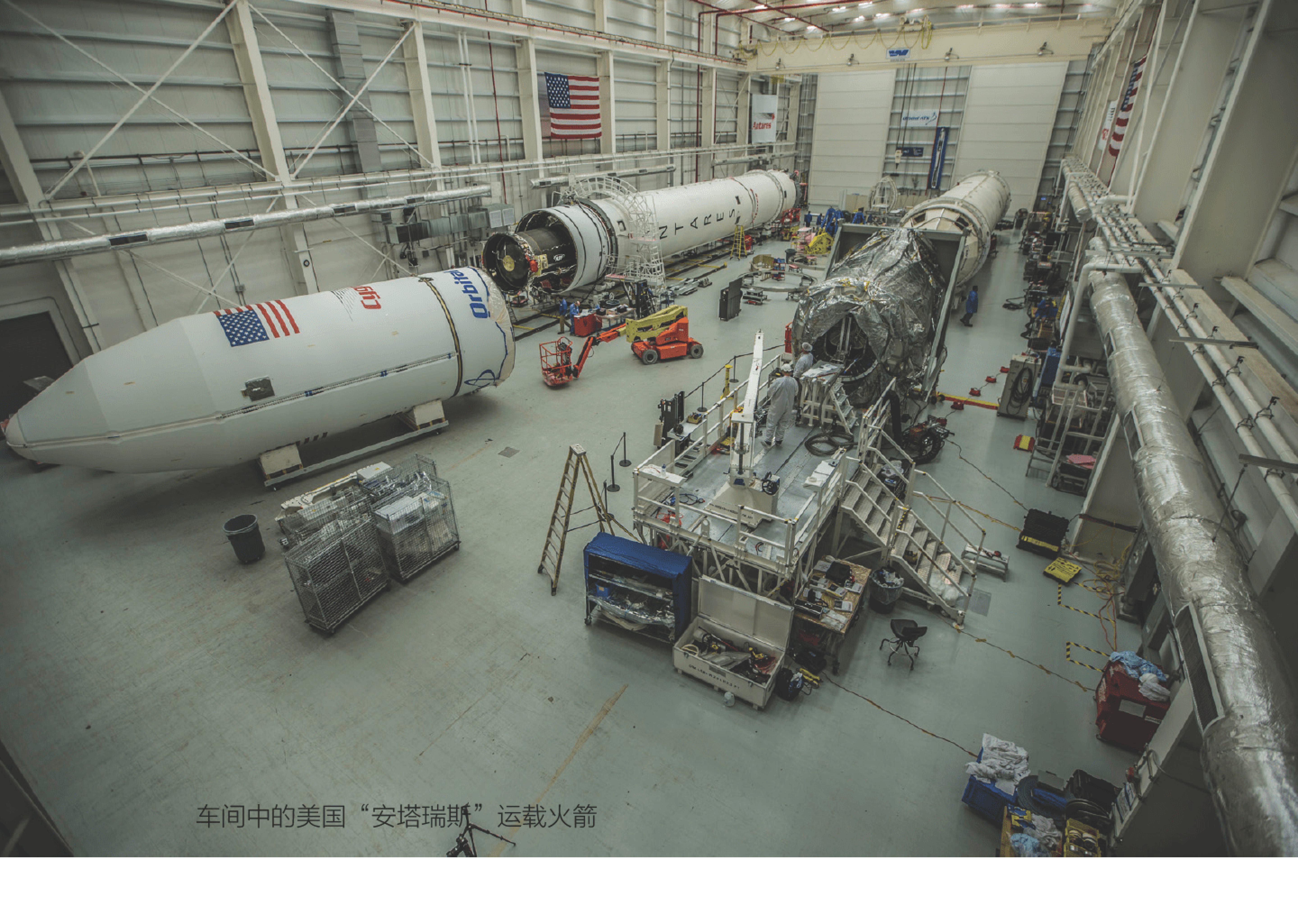
小贴士

1986 年 1 月 28 日，美国“挑战者”号航天飞机爆炸，原因是其右侧固体火箭助推器上的装配接头和密封件因天气较冷而失效，使固体推进剂燃烧的高温燃气通过破裂的密封圈泄漏出来，引起装有液氧、液氢的外贮箱爆炸，导致 7 名航天员全部遇难。

故障原因

据统计，从 1984 年 1 月 1 日到 1994 年 12 月 31 日，世界各国共发射运载火箭 1176 次，其中失败 43 次，成功 1133 次，发射成功率约为 96%。几乎所有发射运载火箭的国家都有过失败的教训。在造成发射失败的分系统故障中，动力装置系统占了首位；其次是控制系统；然后是结构系统。造成运载火箭出现故障的原因是多方面的，按其性质来分大致有以下几个方面。

（1）设计上的原因。由于设计人员认识上的原因、知识面的不足或工作中的失误，造成设计不当或不完善，致使产品在发射和飞行过程中出现故障。



车间中的美国“安塔瑞斯”运载火箭

（2）生产过程中带来的缺陷。运载火箭在生产过程中，由于生产质量控制不严，致使产品内部存在缺陷，如暗伤、多余物等，这些缺陷对火箭来说都是致命的问题。有些缺陷在地面多次检查都很难发现，但火箭一起飞问题就暴露出来了。例如，元器件质量不稳定，环境的影响，火箭发射及飞行过程中要经历各种力学环境、热环境、电磁环境，如雷电、电磁干扰、高空风等，假若设计时考虑不周或地面试验不充分，均可导致发射失败。

（3）操作失误。这种情况在运载火箭发展早期曾有发生，但随着发射操作人员素质的提高及发射控制自动化程度的提高，现在已经不常见了。

应对措施

针对上述原因，在运载火箭的研制和发射过程中需要采取种种措施，以提高火箭的可靠性，其做法大致有以下几个方面。

（1）精心组织设计。要想提高产品的可靠性，设计是关键。在运载火箭设计之初，应针对某一个型号的特点，制定出相应的可靠性保证大纲和可靠性设计准则。例如，对结构系统而言，从原材料选择到零组件设计，


运输中的俄罗斯“联盟”号运载火箭

从确定设计安全系数到地面试验，都应有明确的准则；对电子系统设计来说，从选择电子元器件的品种、规格、产地到进行降额设计、热设计、电磁兼容设计等，都应有详细规定。另外，要根据具体情况对某些系统的仪器、设备或整个系统采取设备冗余或系统冗余，一旦某一设备或某一系统出现故障，则能自动切换到备份的设备或系统上去，以保证运载火箭继续正常飞行。

（2）建立严格的质量保证体系，进行全面的质量控制。运载火箭从设计到生产，再到具体发射操作，要建立起一套完整的质量管理办法。例如，设计评审制度，产品生产质量控制与检验制度，发射操作岗位责任制度等。

（3）充分地进行地面试验。目前的运载火箭还都是一次性使用的产品，不允许对其反复进行使用验证。因此，在地面必须进行大量的模拟试验、环境试验，及早暴露其设计上的不足、原材料元器件的隐患、生产制造中的缺陷，以便在发射之前予以排除。地面试验越充分，发射的成功率就越高。

随着科技的发展，设计经验的丰富，原材料、元器件质量的提高，质量保证体系的建立，运载火箭的发射成功率正在逐步提高。



NO.34 运载火箭飞行时地面如何对其进行跟踪和控制？

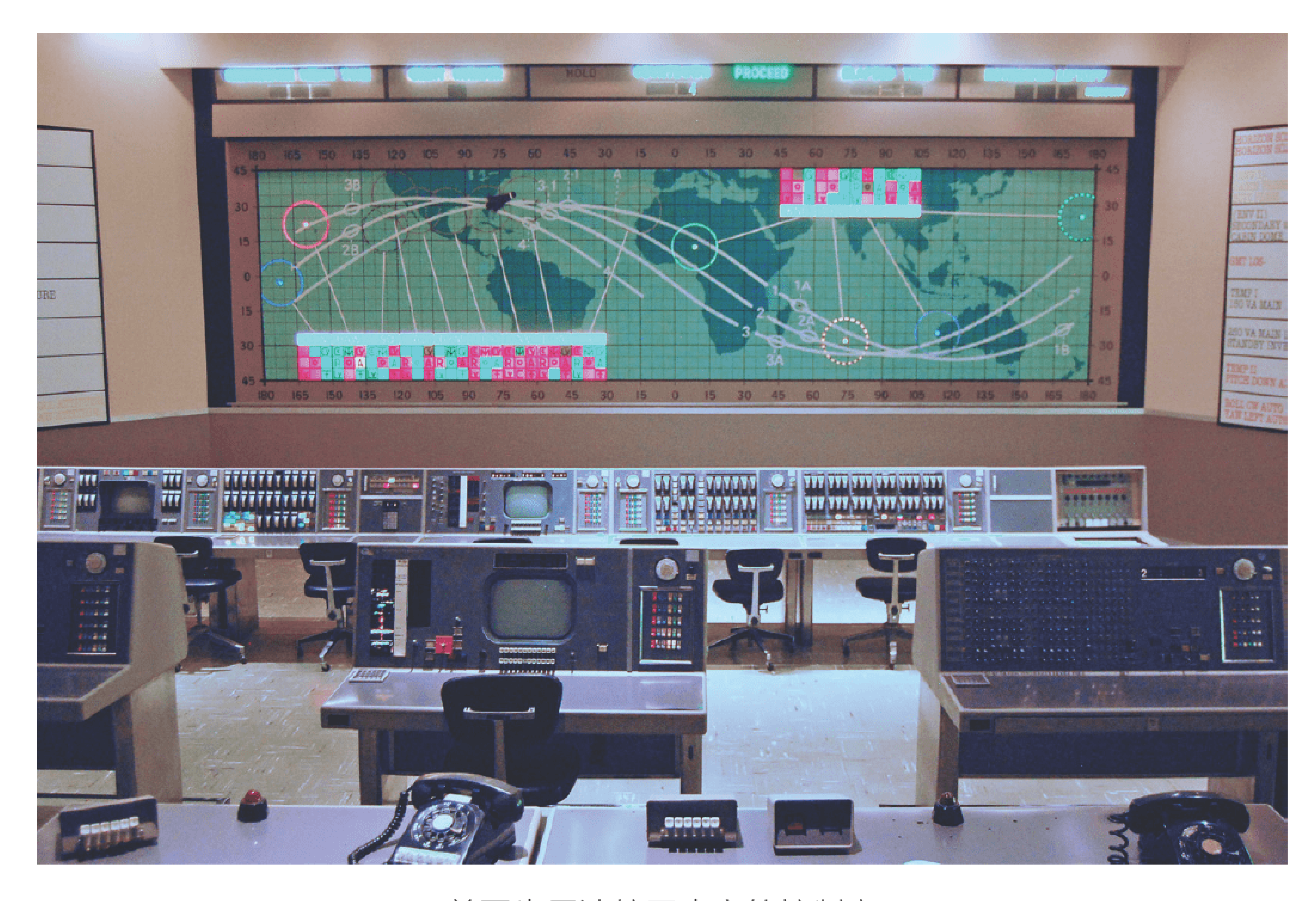
在运载火箭的飞行过程中，地面需要随时对它进行跟踪并测量它的飞行轨道，以便实时了解其飞行状态，初步评价其飞行任务完成情况，及时掌握其飞行是否正常的安全信息。运载火箭的飞行轨道是由每一时刻火箭在以发射点为原点的直角坐标系中的相对位置、速度和加速度来表示的。

跟踪测轨方式

对运载火箭跟踪测轨的基本方式是光学跟踪测量和无线电跟踪测量。光学跟踪测量系统是运载火箭飞行中最基本的跟踪测量系统，它不但能测量运载火箭的飞行轨迹，而且能直接观察到火箭的飞行姿态以及火箭箭体上有没有起火冒烟等外部现象。无线电跟踪测量也就是用雷达来测量，它测量的精度高，作用距离远，但设备较复杂。

1）光学跟踪测量系统

光学跟踪测量系统是一个具有随动机座（能跟着火箭随动的装置）的大型望远镜。它像眼睛一样随时盯着飞行中的运载火箭，将其形象显示在屏幕上。这时只要测量随动机座的方位角和俯仰角，通过对两个或多个地面站上



美国肯尼迪航天中心的控制室



的望远镜随动机座的方位角与俯仰角进行交汇计算，就可计算出运载火箭的轨道参数。

常见的可见光跟踪测量设备是电影经纬仪，它是大地测量光学经纬仪与电影摄影机相结合而成的仪器，其引导设备能自动跟踪飞行中的运载火箭。多个地面站在统一时间控制下对飞行中的火箭同步摄影，一般以 10 次 / 秒～ 20 次 / 秒拍摄火箭飞行中的形象，并用传感器测量随动机座的方位角与俯仰角，再将数据送入计算机进行处理，就可得到火箭的飞行轨道参数。电影经纬仪设备简单，并能记录飞行中火箭的形象，但因它受光照的限制，不能全天候工作。

2）无线电跟踪测量系统

无线电跟踪测量系统是依据无线电波的传播特性对火箭进行跟踪和测量。以测量无线电波在空间传播时间为基础而计算出距离的系统叫测距系统；以运动目标与固定测量站之间电波传播产生多普勒效应为基础而计算出速度的系统称测速系统。

脉冲雷达是常用的测距雷达。它从地面向运载火箭发送脉冲调制的询问信号，装在运载火箭上的应答机接收到询问信号后，经变换载频转发到地面站，通过计算脉冲电磁波往返传输的延迟时间，扣掉应答机反应的延迟时间，就可计算出火箭相对地面站的距离。再根据接收载波中的多普勒频移，就可计算出火箭的径向速度。利用等信号法获取火箭的方位角和俯仰角，经过计算处理、坐标转换，即可得到运载火箭的轨道参数。

在多普勒测速雷达中，地面站发射固定频率的等幅电磁波，箭上应答机接收到信号后，再变换载频转发到地面站。地面站接收到信号后，对比发射频率与接收频率，再除去转发器变换频率的影响，两者频率之差便是多普勒频移。利用多普勒频移可计算出运载火箭的径向速度。

装在运载火箭上的应答机与地面测控站一起对火箭进行跟踪测量。它接收地面站发射的测量询问信号，经变换载频后再转发回地面站。有了应答机，可以提高测量信号的信号噪声比，扩大测量雷达的作用距离，提高测量精度。

3）激光和红外光跟踪测量系统

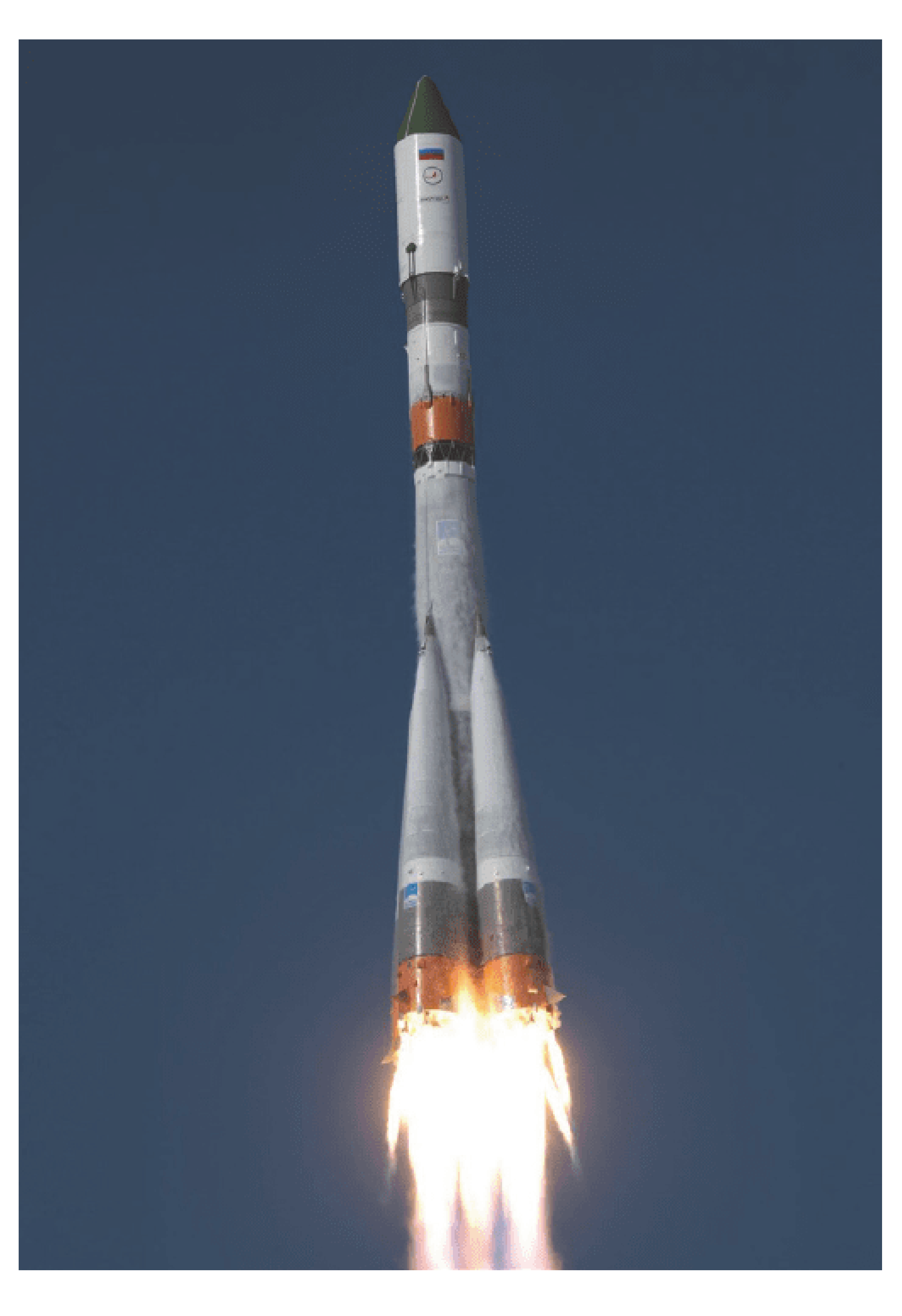
除了光学跟踪测量和无线电跟踪测量，激光和红外光跟踪测量技术也常用于运载火箭的跟踪测轨。其传播特性与无线电波相同，跟踪测量的原理、设备组成也与无线电雷达相近，因此称为激光雷达和红外雷达。

雷达辐射的电磁波只能沿直线传播，而运载火箭的航程很长，由于地球曲率的影响，所以仅仅由一个地面站不可能完成对运载火箭飞行的全部跟踪

测量任务，需要多个地面站协作，才能完成对运载火箭的跟踪测量。

遥控炸毁火箭

对一次性使用的运载火箭来说，地面对运载火箭的遥控仅仅是飞行安全控制。当运载火箭在飞行中一旦出现故障而不能正常飞行时，为了避免发生故障的火箭坠落地面过程中，对地面的生命和财产带来严重灾难，需要选择一个合适时机，将火箭在空中炸毁。判定运载火箭是不是出现了故障，选择什么时机遥控炸毁火箭是一个十分重要而又相当复杂的问题。事先要通过计算确定一个火箭飞行的安全管道，安全管道就是火箭实际飞行的轨道参数偏离设计轨道值允许偏差的范围。



飞行中的俄罗斯“联盟”号运载火箭

判定火箭飞行是不是正常的安全信息，一方面来自跟踪测轨参数，另一方面来自火箭的遥测参数。将这些信息送入计算机，由计算机根据安全管道、安全判据，进行实时安全判断。在运载火箭偏离安全管道时，向安全指挥员预警。安全指挥员在计算机辅助下，选择时机，按下安全控制主控台上的炸毁按钮，通过无线电遥控信道，向运载火箭发送炸毁指令。箭上安全系统中的无线电安全控制接收机在收到指令后，经过解码辨识，接通箭上的引爆器；引爆爆炸装置，将运载火箭在空中炸毁。



美国和意大利联合研制的“侦察兵 B”运载火箭点火升空

当运载火箭运送载人飞船时，箭上安全控制接收机在收到炸毁指令后，首先启动逃逸火箭，让飞船脱离火箭后，再将火箭炸毁。





NO.35 在外太空执行任务的航天器通过什么技术手段导航定位？

航天器导航就是给出受控航天器的位置矢量和速度矢量以确定航天器轨道的方法和过程。它主要完成的工作有：确定当时的航天器在轨道上的位置和速度；计算未来的航天器轨道和着陆点，以及所需机动的初始条件。

按照导航数据的获得是否依赖地面设备的支持，航天器导航基本可分为非自主导航、自主导航两大类。常见的非自主导航有利用地面站对航天器进行跟踪测量并完成轨道确定和利用跟踪与数据中继卫星进行测轨两种方法。自主导航是不依赖于地球上或其他天体上的人造设施的轨道确定方法，有天文导航和惯性导航等。

非自主导航

非自主导航由地面站设备，例如雷达，对航天器进行跟踪测轨，并且在地面上进行数据处理，最后获得轨道位置信息。相反，若航天器的位置和速度等运动参数用星上测轨仪器（或称导航仪器）来确定，而该仪器的工作不依赖于位于地球或其他天体的导航和通信设备，那么轨道确定（空间导航）则是自主的。



美国“亚特兰蒂斯”号航天飞机的座舱

过去，绝大部分航天器采用非自主导航。由于这种方法存在很大局限性，它要依赖地面站，而一个地面站跟踪卫星的时间是非常有限的。如果要连续跟踪卫星，则需要相当数量的地面站。例如，要求地面站 100% 时间覆盖航天器，当轨道高度为 270 千米时，需要 56 个地面站；当高度为 800 千米时，需要 20 个地面站，而且这些地面站都要求理想分布，其中大多数站势必在国外或海上。由此可见，用增加地面站的办法来跟踪低轨道航天器 100% 的轨道时间是不经济的，甚至是不现实的。但若不能连续跟踪航天器，则测轨只能利用一段轨道数据处理技术，当设站不够多时，测轨精度会很低。

自主导航

自主导航存在两种方式：被动或主动。被动方式意味着与航天器以外的卫星或地面站没有任何合作，例如，空间六分仪；而主动方式意味着与航天器以外的地面站或卫星（例如，数据中继卫星）有配合，例如，全球定位系统。另外还存在一个问题需要考虑，即航天器自主轨道确定与姿态确定是相互关联或者互相独立的，一般说来由于轨道比姿态变化缓慢的原因，希望轨道确定和姿态确定互相分开，特别在精度要求很高的场合。但是有许多敏感器，例如，空间六分仪、陆标跟踪器、惯性测量部件、太阳和星敏感器等，既可以作轨道确定系统的敏感器，同样地也可作姿态确定系统的敏感器。根据这些敏感器所得到的信息，设计相应软件，经过计算机进行数据处理和计算，就可以得到有关轨道和姿态的数据。在这种情况下，姿态和轨道确定是相关联的。



美国航天员查尔斯·博尔登在“发现”号航天飞机座舱中



航天器自主导航系统按它的工作原理可分为以下几类。

（1）测量对于天体视线的角度来确定航天器的位置：这基本上属于天文导航方法。在这种导航系统中，航天器首先测定它对地球表面的当地垂线，然后以此为基准分别测量 3 个彼此独立的已知星体的角度。根据这些测量数据就可推算出航天器的位置和姿态信息。

天文导航系统是以天空的星体作为导航台、星光作为导航信号的测角定位系统。星体离航天器很遥远，这时很小的测角误差就会产生很大的定位误差。为了精确定位，除了要求高精度测角外，还要有高精度的方向基准，而且设备的价格昂贵，系统的工作受气象条件限制。但是，由于星体离地面很远，系统工作区域广，可对在外层空间活动的航天器进行导航，而且当航天器在大气层之上时，导航就不再受气象条件限制。

（2）测量地面目标基准来确定航天器的位置和姿态：这种系统要依靠地面控制点或陆标，而这些地面目标从空间是可以被识别出来的，地面控制点有很多形式，例如，精确的光源、发射机、特征或地面上特定的地区。虽然不同的系统探测地面控制点的形式各不相间，但从被测量的参数总是可以得到航天器完整的位置和姿态的信息。

（3）对已知信标测距：这类自主导航系统要依靠已知信标来测量航天器到 3 个或更多已知点的距离，然后用三角法解出所求航天器的位置。通过获取由已知信标发射的某种形式的导航信号来确定距离，这种导航信号中包括有关发射机的位置和信号开始发送的时间信息。然后接收机根据已知信号接收时间解出信号传播时间，若信号传播速度不变，则可以估算出距离。全球定位系统（GPS）导航就属于这一类。

（4）惯性导航方法：它主要由惯性测量装置、计算机和稳定平台组成。通过陀螺和加速度计测量航天器相对于惯性空间的角速度和线加速度，并由计算机推算出航天器的位置、速度和姿态等信息。因此惯性导航系统也是航天器的自备式航位推算系统。

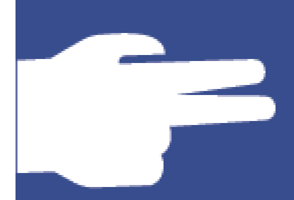
惯性导航系统具有抗干扰、抗辐射性（如电磁波和光波）强，不受外界影响，导航精度也较高的特点，自主性很强，适用范围广。但是它有积累误差，由于陀螺总存在漂移，导航精度会随着系统工作时间的增加而降低，因而此种方法难于满足长寿命航天器的导航任务。另外，当航天器在自由飞行时，惯性导航对加速度计灵敏度要求很高，还要求准确的重力场数据。因此惯性导航适用于航天器主动段。



飞行中的俄罗斯“联盟”号宇宙飞船



在轨运行的国际空间站



NO.36 航天器在太空轨道上如何实现交会对接？

交会对接是两个航天器（宇宙飞船、航天飞机等）在太空轨道上会合，并在结构上连成一个整体的技术。太空交会对接是实现空间站、航天飞机、太空平台和空间运输系统的太空装配、回收、补给、维修、航天员交换及营救等在轨道上服务的先决条件。



一般来说，交会对接过程分为 4 个阶段：地面导引、自动寻的、最后接近和停靠、对接合拢。在地面导引阶段，追踪航天器在地面控制中心的操纵下，经过若干次变轨机动，进入追踪航天器上的敏感器能捕获目标航天器的范围（一般为 15 ～ 100 千米）。

在自动寻的阶段，追踪航天器根据自身的微波和激光敏感器测得的与目标航天器的相对运动参数，自动引导到目标航天器附近的初始瞄准点（距目标航天器 0.5 ～ 1 千米），由此开始最后接近和停靠。

追踪航天器首先要捕获目标的对接轴，当对接轴线不沿轨道飞行方向时，要求追踪航天器在轨道平面外进行绕飞机动，以进入对接走廊，此时两个航天器之间的距离约 100 米，相对速度约 1 ～ 3 米 / 秒。追踪航天器利用由摄像敏感器和接近敏感器组成的测量系统精确测量两个航天器的距离、相对速度和姿态，同时启动小发动机进行机动，使之沿对接走廊向目标最后逼近。在对接合拢前关闭发动机，以 0.15 ～ 0.18 米 / 秒的停靠速度与目标相撞，最后利用栓—锥或异体同构周边对接装置的抓手、缓冲器、传力机构和锁紧机构使两个航天器在结构上实现硬连接，完成信息传输总线、电源线和流体管线的连接。

航天器太空交会对接技术的实施必须由高级控制系统来完成，根据航天员及地面站的参与程度可将控制方式划分为遥控操作、手动操作、自动控制和自主控制 4 种类型。


美国“奋进”号航天飞机与国际空间站对接

（1）遥控操作。追踪航天器的控制不依靠航天员，全部由地面站通过遥测和遥控来实现，此时要求全球设站或者有中继卫星协助。

（2）手动操作。在地面测控站的指导下，航天员在轨道上对追踪航天器的姿态和轨道进行观察和判断，然后手动操作。这是比较成熟的方法。

（3）自动控制。不依靠航天员，由船载设备和地面站相结合实现交会对接。该控制方法亦要求全球设站或有中继卫星协助。

（4）自主控制。不依靠航天员与地面站，完全由船上设备自主实现交会对接。

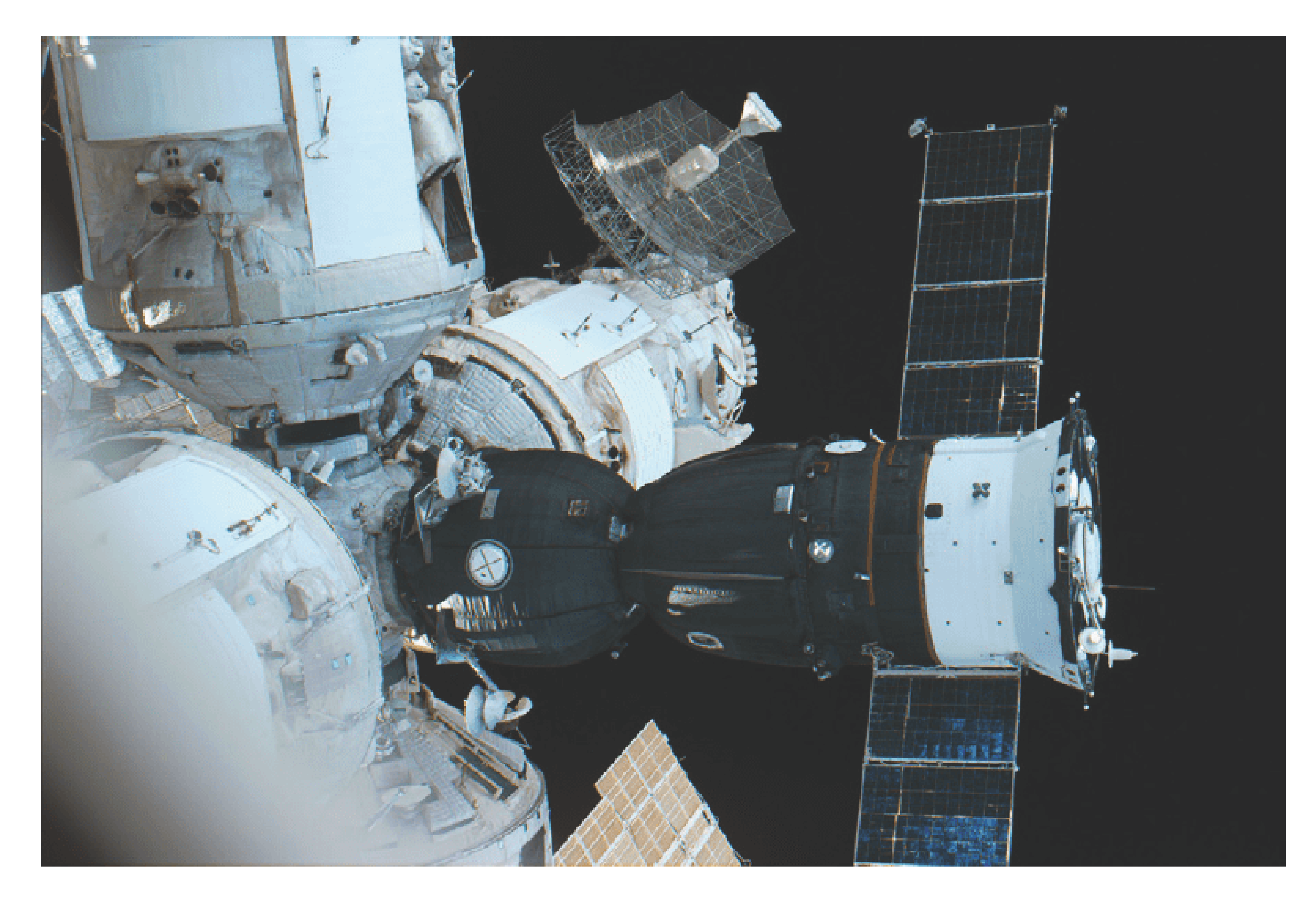
从本质上说，上述分类可归结为人工控制方式和自动控制方式。迄今为止，美国较多地应用人工控制方式，而俄罗斯则主要采用自动控制方式。

小贴士

1965 年 12 月 15 日，美国“双子星座”6 号和 7 号飞船在航天员参与下，实现了世界上第一次有人太空交会。



美国“亚特兰蒂斯”号航天飞机与国际空间站对接



俄罗斯“联盟”号宇宙飞船与“和平”号空间站对接



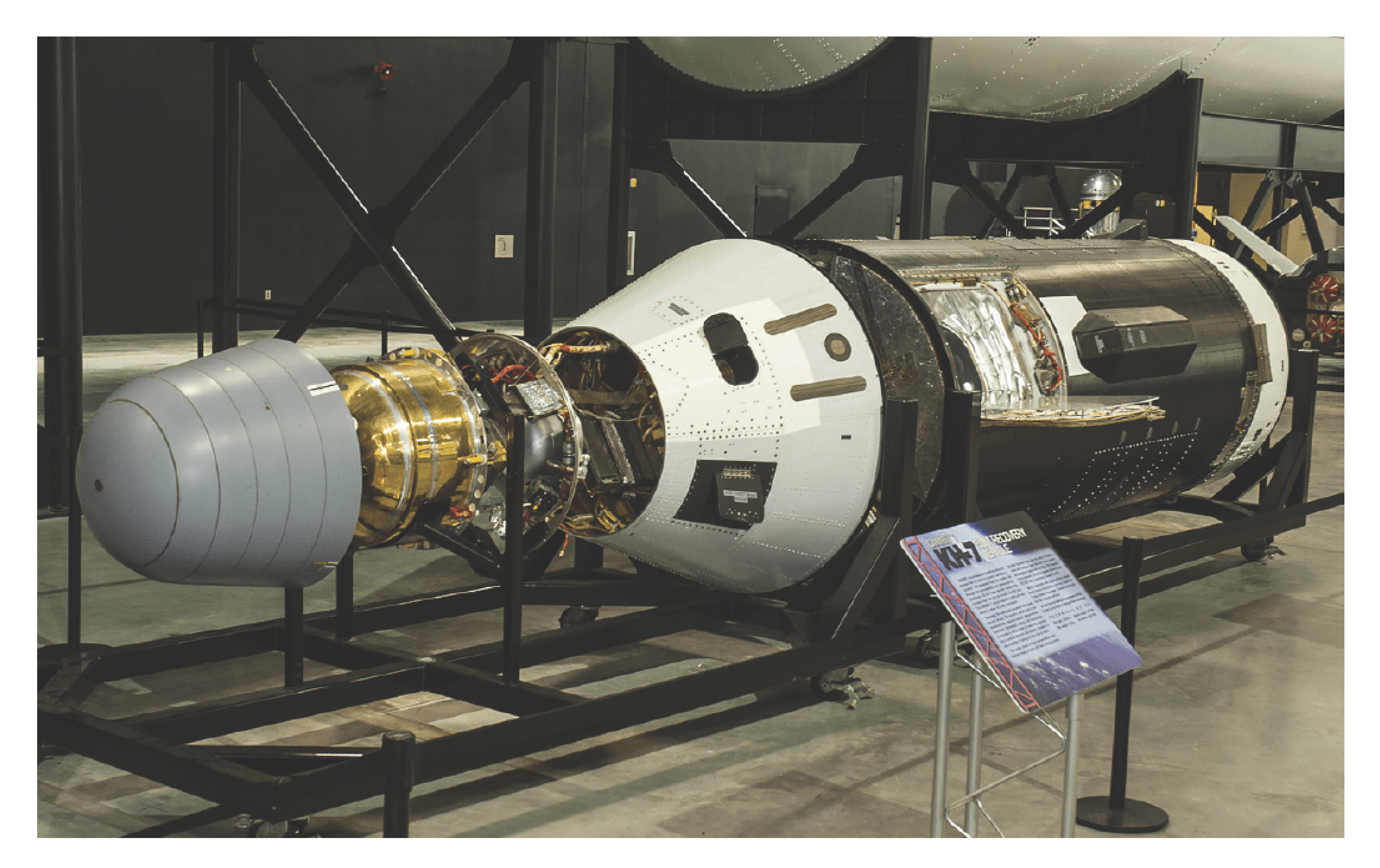


俄罗斯“联盟”号宇宙飞船与国际空间站对接

NO.37 返回式卫星返回地面需要克服哪些技术难题？

返回式卫星是指在轨道上完成任务后，有部分结构会返回地面的人造卫星。返回式卫星在整个卫星家族中占有很大的比重，用途也很广泛，它能作为观测地球的空间平台，装载各种精密的遥感仪器设备，可获取大量的、图像清晰的、分辨率高的遥感资料，广泛地应用到科研和工农业生产的各个领域：国土普查、石油勘探、地图测绘、海洋海岸测绘、地质矿产调查、铁路选线、电站选址、地震预测、草原与林区普查以及历史文物考古等；在国防上也可用于军事侦察。这类卫星还可作为空间微重力试验平台，搭载多种微重力试验装置，能进行材料和生物等科学领域的各种试验。

研制返回式卫星，除了要解决一般卫星的结构、温度控制、姿态控制、电源和无线电测控等技术外，还要必须解决卫星的返回技术，才能使其从太空轨道上安全返回地面。这也是返回式卫星的独特之处和困难所在。具体来说，返回式卫星要想顺利从太空返回地面，需要解决卫星的调姿、制动、防热、软着陆、标位及寻找等技术难题。



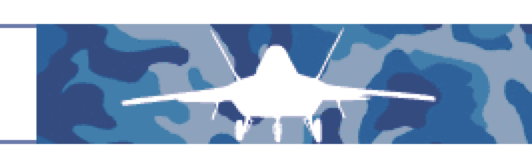
展览中的美国 KH-7 照相侦察卫星（返回式）

首先，卫星返回之前先要调整飞行状态，即脱离原来的运行轨道。卫星脱离原有轨道的速度叫作再入速度。再入速度与地平线所形成的俯角称为再入角。卫星重返大地对再入角的要求十分严格，一般须在 3 度～ 5 度。如果太大，卫星将会陡直地进入大气层，会引起较大的空气阻力和摩擦加热；如果太小，则卫星将仍在原轨道上运行，再入速度与再入角都靠一支小型助推火箭来控制。火箭的点火时间、推力方向、推力大小与时间长短都会影响到再入速度和再入角的准确度。这就要求有灵敏而可靠的火箭制动（反椎）发动机。

其次，卫星在降落过程中，要摩擦生热。尤其是当它降到离地面 60 ～ 70 千米时，与大气层摩擦产生大量的热能，使其表面发生燃烧。为此，必须采用适当的防热设施，来保证回收舱在再入大气层时能够维持内部的正常温度。这就需要有特殊的耐高温材料。

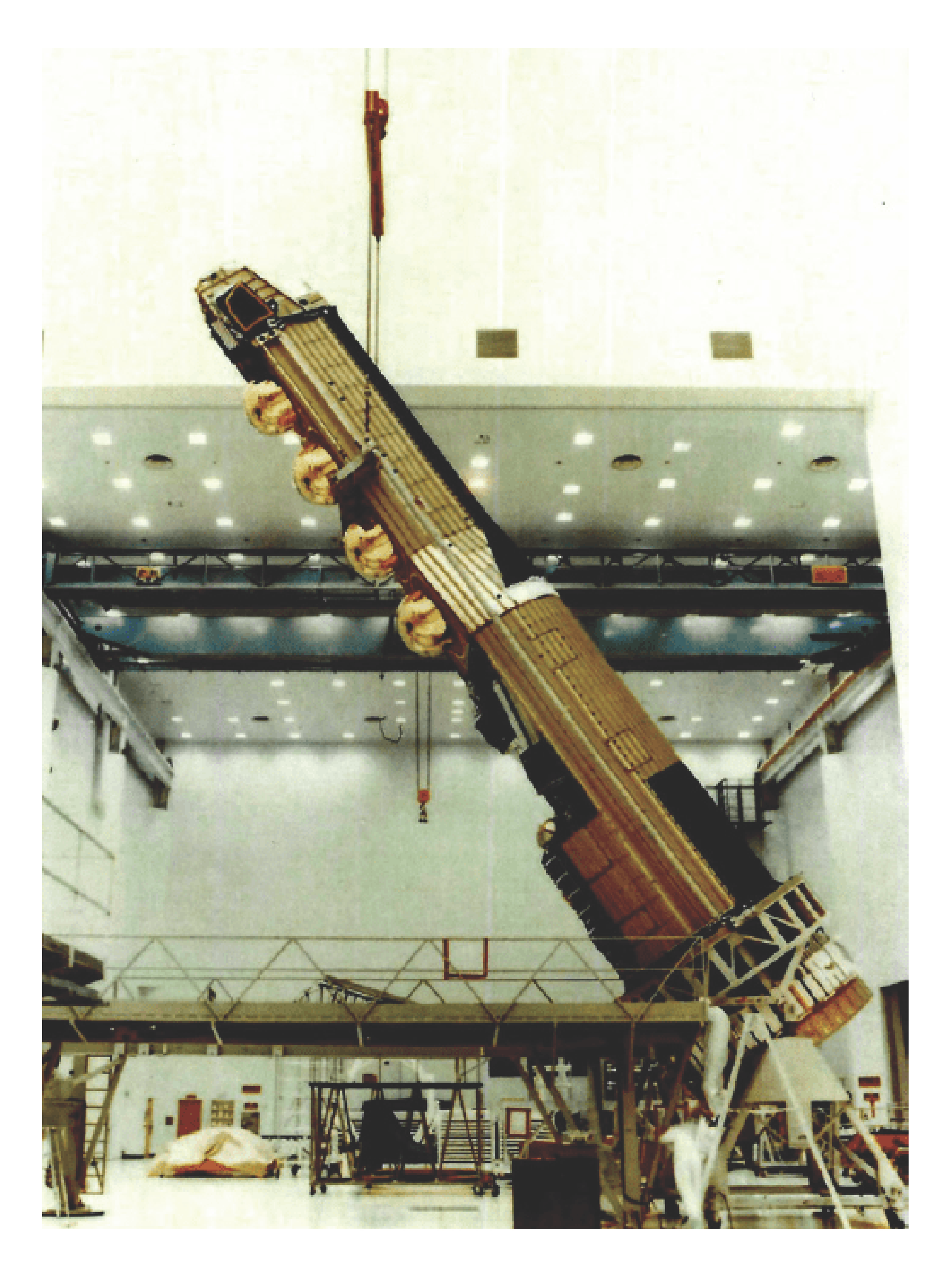
再次，卫星返回地面需要很长的运行区间，必须不间断地对卫星进行精确测量和全程跟踪，并根据实测轨道参数对卫星的程序控制数据进行必要的控制和管理，为此就要建立更大范围、更多功能的地面测控网。

最后，卫星降落到离地 10 ～ 20 千米时，尽管速度已经大大减小，但仍然有 200 米 / 秒左右。如果以这样的速度撞击地面，卫星必然粉身碎骨。因此，必须使用减速伞来再次降低速度。通常先要打开一顶较小的副伞，进行初步减速；当卫星降落到离地面只有 5 千米的高度时，再打开主伞，使卫星



速度小于 10 米 / 秒。降落伞的打开必须非常准时，否则卫星就不能安全着陆。

除此之外，卫星降落后，还必须能够准确标示出自己的位置，便于地面人员寻找。标位方法一般有两种：一是在卫星上安装信标机，在离地面 20 ～ 30 千米时发出无线电信号，地面收到信号后测定卫星的方位和距离；二是在卫星上安装灯光信标，在着陆时发出强烈的闪光，以引起搜索人员的注意。当地面人员利用这些标位信号发现卫星后，即根据卫星所处的位置，分别采取陆上、海上和空中回收等方式将卫星回收。



组装中的美国 KH-9
照相侦察卫星（返回式）

NO.38 美国如何利用空中挂取方式回收从太空返回的人造物体?

世界各国以空中挂取方式回收从宇宙返回的人造物体有着悠久的历史，1960 年 8 月 19 日美国一架经过改装的 C-119 运输机在夏威夷附近空域挂住了代号“探索 14”的返回胶囊，正式开启了空中回收的历史。而这个神秘胶囊的载荷，正是堪称间谍卫星鼻祖的“科罗纳”间谍卫星的胶卷，此次任务也是人类有史以来第一次用卫星进行地面拍摄。由于 20 世纪 50 年代和 60 年代摄影技术的限制，早期的间谍卫星以胶卷储存相片，并需要把胶卷以物理形式送回地面供情报人员分析。鉴于胶卷中涉及大量秘密情报，坠落地面或海面容易被一般民众发现且撞击会对胶卷造成损伤，刻意封锁又容易暴露间谍卫星的存在。美国中央情报局和美国空军最终决定采用空中回收的方式，以保证胶片尽可能完好无损的同时，悄无声息地取回。

按照计划，一架 10 人机组的运输机会提前飞往胶囊预计返回空域，两名遥感操作员会提前计算返回轨道并告知飞行员，随后在大约 50000 英尺

（15240 米）的高度上由机组人员肉眼捕获。接着操作员开启尾部舱门并释放挂钩，待挂住返回胶囊的降落伞后再由绞盘将整个胶囊连同降落伞一起拉入机舱。回收完毕后运输机立刻返回珍珠港的希卡姆空军基地，在那里早已等待多时的运输机会将胶囊火速送往位于马里兰州米德堡的美国国家安全局总部进行分析。若飞行员未能成功挂住降落伞，则可派遣船只回收或干脆弃之不管，安装在返回胶囊底部的盐栓会在两天后被海水溶解，使得整个胶囊沉入海底，海水的腐蚀会彻底破坏胶卷。机组为训练空中回收需要的默契配合，几乎每天都会空中回收由其他飞机空投下的假目标。

从 1959 年起至 1972 年止，“科罗纳”间谍卫星总共发射 144 次，其中 102 次回收成功，改造过的 C-119 和 C-130 运输机都先后参与。当然，美国中央情报局对回收成功的定义是胶卷可以读取，因而不乏实际物理回收成功但胶卷损坏的案例存在。1961 年专门负责研发操纵间谍卫星的美国国家侦查局（NRO）成立后，“科罗纳”间谍卫星根据拍摄技术的先进程度被重新编号为 KH-1 至 KH-4，“锁眼”间谍卫星家族由此诞生。一直到数字传输图像的 KH-11 间谍卫星诞生为止，KH-5 至 KH-9 系列全部延续了“科罗纳”间谍卫星的空中胶囊回收。

除了间谍卫星的空中回收外，美国国家航空航天局（NASA）也曾计划过空间探测器的空中回收，那便是太阳风粒子探测器“起源”号的返回舱。2001 年 8 月 8 日发射的“起源”号探测器主要目的是搜集太阳风粒子，以精确计算太阳风和太阳主要成分，同时也是 NASA 在“阿波罗”计划后第一次将地外物质带回地球，以及当时人类带回的距离地球最远的物质。为避免地

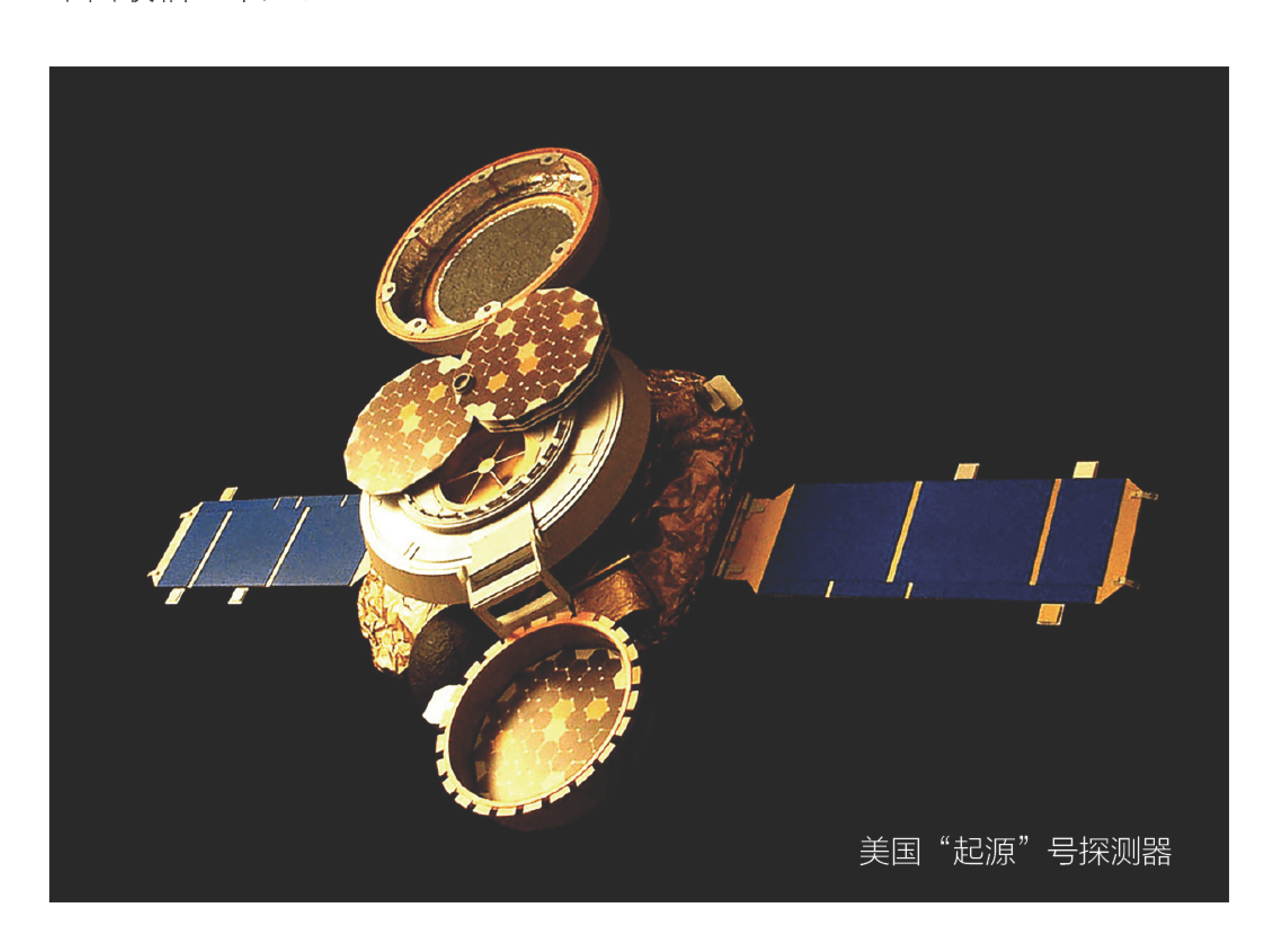

美国 C-119 运输机回收“探索 14”返回胶囊



球磁场对太阳风粒子的污染，“起源”号探测器在远离地球磁场的地日 L1 拉格朗日点进行样品采集，采集结束后“起源”号绕道地日 L2 拉格朗日点以便在美国时间的白天返回地球。由于担心返回舱降落时的撞击和震动会破坏返回舱的完整性，进而污染采集的太阳风粒子，NASA 决定采用直升机空中回收的方式。

计划中“起源”号会在掠过地球的时候释放 275 千克重的样品返回舱，预计回收地点为美国犹他州试验训练场。在距离地面 33 千米时，返回舱开启减速降落伞，而后在距离地面 6.7 千米时打开主降落伞以稳定返回舱的下降。在距离地面 2.5 千米时，改装过的直升机将用大约 5 米长的钩子钩住主降落伞，若此高度回收失败，第二架备用直升机将在 2 千米高度再次尝试回收。钩住降落伞后直升机要将返回舱缓慢吊入提前在地面准备好的密封舱，以确保回收全程无污染。

与“科罗纳”胶囊回收相比，“起源”号的样品返回速度更快且更复杂，颇有些空中特技的味道。为此，NASA 特意去好莱坞雇佣了两名直升机特技飞行员来完成空中回收。两人提前进行了数次模拟挂取，没有一次失败。外加上 2.5 千米的高度足够两架直升机各进行 4 次回收尝试，NASA 因此对空中回收信心十足。

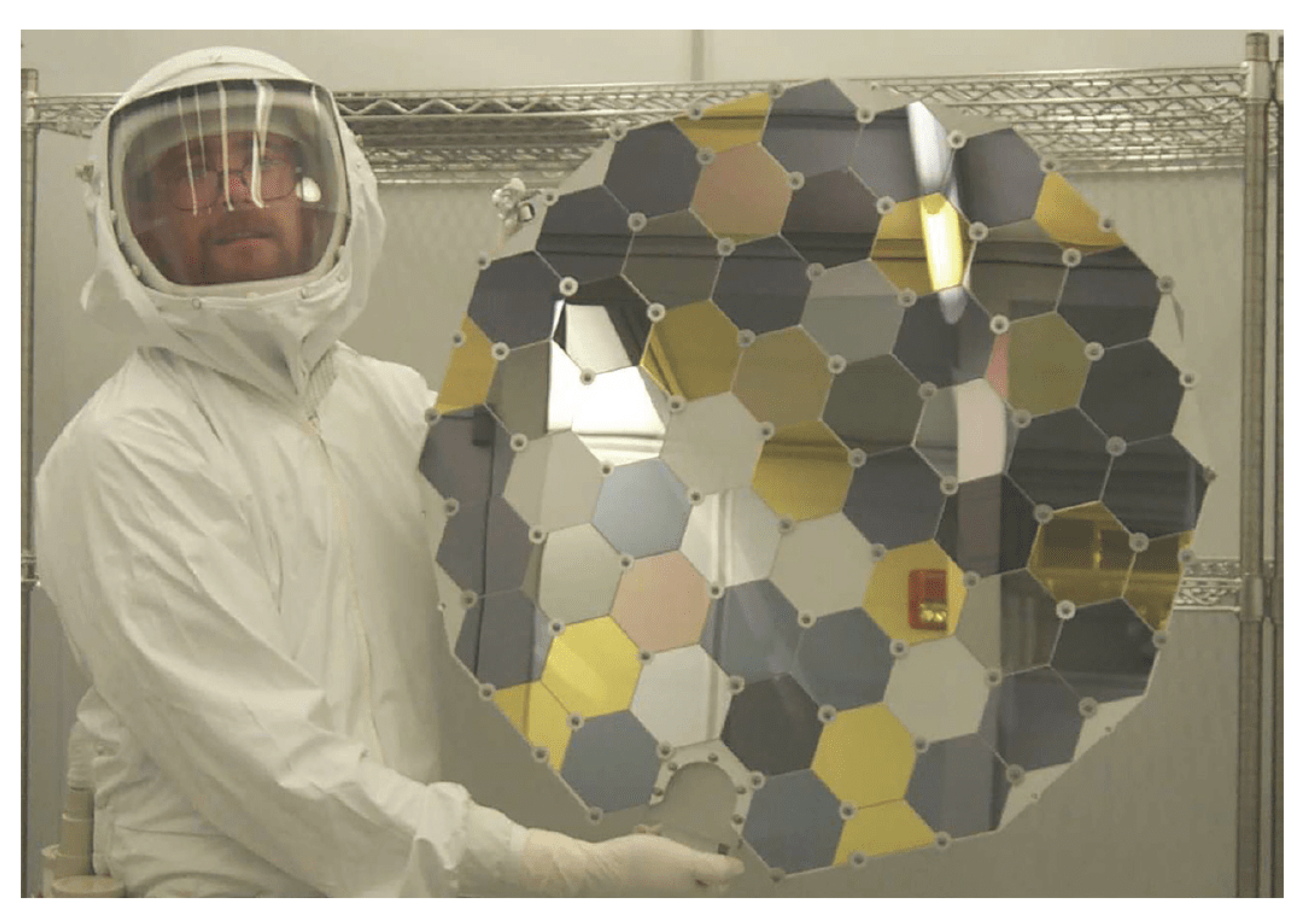


美国“起源”号探测器

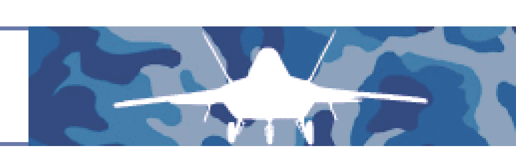
遗憾的是，计划永远赶不上变化。格林尼治标准时间 2004 年 9 月 8 日 16：55 分，“起源”号释放的样品返回舱以 11.04 千米 / 秒的速度进入地球大气层，然而由于返回舱电子组件中加速度计算装置的设计问题，减速降落伞和主降落伞均没能按原计划开启。两位特技飞行员只能默默地看着返回舱以 86 米 / 秒的速度撞在犹他州图埃勒县的沙漠上。如此猛烈的撞击造成返回舱破裂，内置样品储存胶囊破损，好在沙子松软的质地一定程度上缓和了冲击，太阳风粒子样品并没有外泄。



正在进行“起源”号探测器回收演练的直升机



“起源”号探测器上用于采集太阳风粒子的硅化玻璃盘



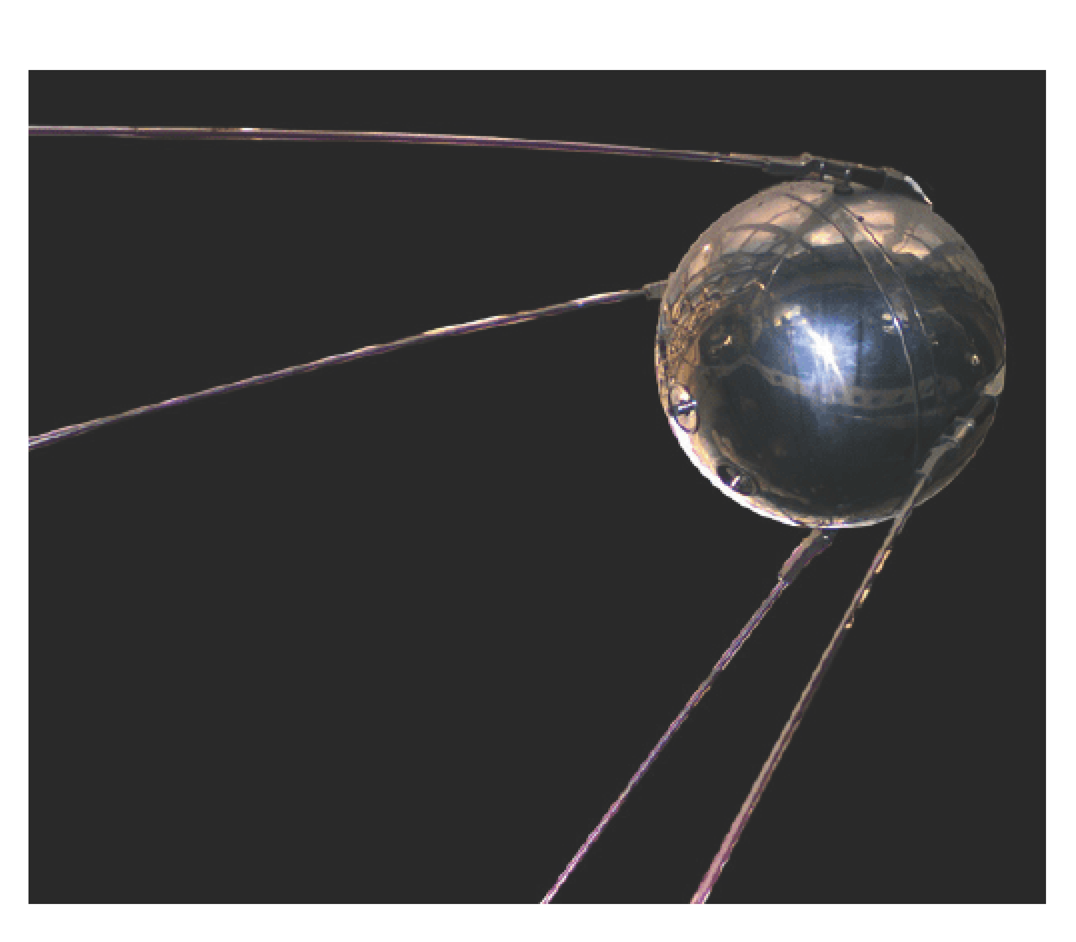


NO.39　人造卫星如何选择合适的运行轨道？

从卫星起飞到卫星在轨道上运行工作，一直到寿命结束，卫星质心的运行轨迹，我们称之为人造卫星轨道。一般来说，人造卫星轨道分为如下三个部分：发射轨道，即卫星从起飞到入轨，卫星质心的运动轨迹；入轨点，卫星进入运行轨道称为入轨，进入运行轨道的初始点就是入轨点；运行轨道，即卫星入轨后开始运行工作，直到工作寿命结束，卫星质心的运动轨迹。

人造卫星的运行轨道多种多样，按形状可分为圆轨道和椭圆轨道；按离地面的高度，分高轨道和低轨道。此外，还有赤道轨道、极地轨道、地球同步轨道、对地静止轨道和太阳同步轨道等有特定意义的轨道等。

卫星绕地球一圈的时间叫运行周期，卫星轨道形成的平面叫轨道平面，轨道平面与地球赤道平面形成的夹角叫轨道倾角。倾角小于 90 度为顺行轨道；大于 90 度为逆行轨道；等于 90 度为极地轨道；倾角为 0 度，即轨道平面与赤道平面重合，为赤道轨道。若卫星的运行周期和地球的自转周期相同，这种卫星轨道就是地球同步轨道；如地球同步轨道的倾角为 0 度，即卫星正好在赤道上空，它将以与地球自转相同的角速度绕地球运行。从地面上看去，就像是静止不动的。这种特殊的卫星轨道被称之为对地静止轨道。处于这条轨道上的卫星就是通常所说的对地静止轨道卫星。



世界上第一颗进入行星轨道的卫星“斯普特尼克 1 号”



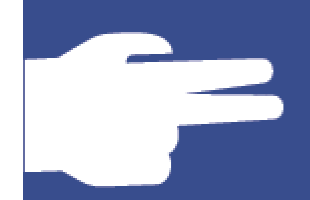
美国第一颗人造卫星“探险者 1 号”

卫星轨道的具体选择，则要根据卫星的任务和应用要求来确定。如对地面摄影的地球资源卫星、照相侦察卫星等，通常采用近圆形的低轨道运行方式；通信卫星则常常采用对地静止的地球同步轨道；为了节省发射卫星时所消耗的运载火箭的能量，常采

用顺行轨道；为了使卫星对地球能进行全面观察，则需要采用极地轨道；而为了让卫星始终在同一时刻飞过地球的某地上空，或使卫星永远处于或永远不处于地球的阴影区，又往往需要采用太阳同步轨道；军用卫星，为了军事的特殊需要，则常常采用地球同步轨道和太阳同步轨道等。



日本“大隅”号人造卫星

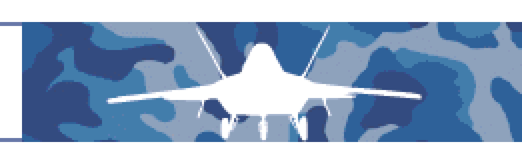


NO.40 部分人造卫星只有一个太阳翼的原因是什么？

太阳翼是一种收集太阳能的装置，通常应用于对卫星、宇宙飞船的供能。太阳翼的基本原理是利用硅（Si）等金属的光电效应，将太阳能转化为电能，然后储存在卫星、宇宙飞船的太阳能电池里，以备使用。卫星发射时太阳翼处于折叠状态，星箭分离后打开并在卫星飞行过程中不断调整方向，使太阳电池对准太阳，为整星工作提供能量。

一般的卫星多采用对称太阳翼的设计，这样有利于卫星在空间保持姿态的稳定。而有的卫星装载的红外探测仪对温度变化极为敏感，需要对其进行降温以保证探测的精确性。当太阳光照射到太阳翼上时，会产生红外辐射的反射，影响卫星定标精度和制冷效果，所以会采用单太阳翼的设计。

现代卫星受功率需求限制，为了实现更大的发电面积，一般采用可展开式的太阳翼，并在根部通过电机机构驱动太阳翼转动。一般卫星均是围绕地球而不是太阳旋转，如果是固定式太阳翼，很多时候就无法照到太阳光，所以太阳翼需要像向日葵一样对着太阳旋转，保证电池板面朝太阳，从而获得最大的发电效率。在这个过程中，就会产生运动耦合，而运动耦合一旦发生，卫星将产生剧烈晃动，轻则影响观测精度，重则使卫星受到损坏。





只有一个太阳翼的美国联合极轨卫星系统（JPSS）卫星

小贴士

运动耦合并不是航天器特有的现象，普通人在日常生活中也会遇到。例如，洗衣机进行脱水操作，机器在刚启动和最高速时的振动都不大，但是当洗衣机转筒在某一速度的转动频率与结构频率产生运动耦合时，就会导致振动放大。

为了避免万里高空中的卫星与太阳翼发生运动耦合，设计师通常会摸清太阳翼自身的频率特性，从设计上错开两者发生运动耦合的频率。一般来说，设计师会采用“牵线木偶”的形式，通过长长的细线将太阳翼吊起，并通过机构使得细线的长度能随着太阳翼晃动缩短或变长，从而保证测试出产品最真实的频率特性，从而有效避免两者运动耦合现象的发生，确保卫星安全、稳定运行。

由于卫星上各类载荷的机械转动都可能使太阳翼产生微小晃动，这种晃动传递给卫星可能会干扰其观测的精准性，因此有的卫星会采用 T 构型，以便缩短太阳翼质心和卫星的距离，即便太阳翼发生晃动或者抖动，对卫星的干扰也非常小。



只有一个太阳翼的欧洲“哨兵 3”环境监测卫星



拥有两个太阳翼的欧洲“伽利略”导航卫星



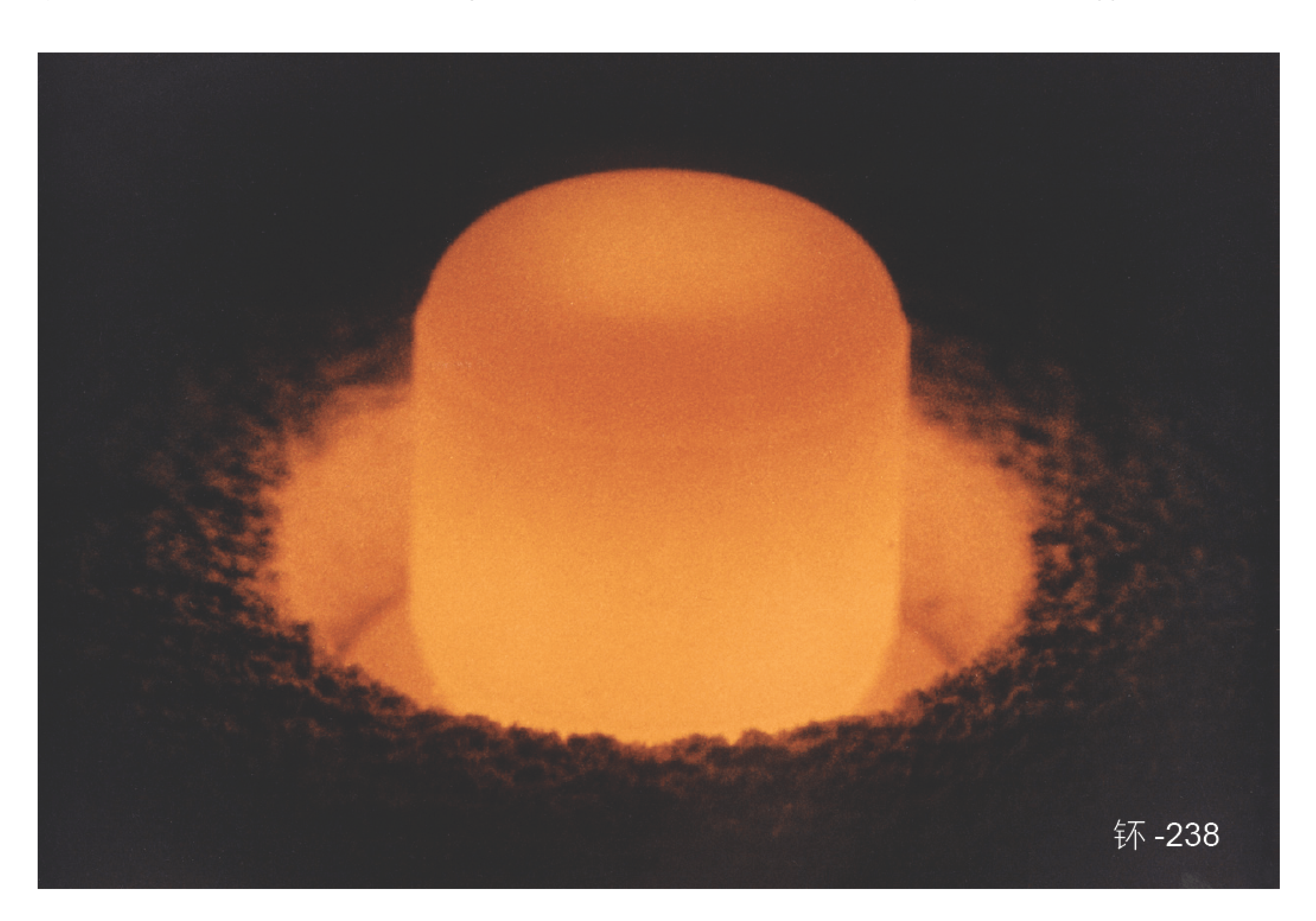


NO.41　航天器使用的同位素电池有何特点?

随着对太空开发利用的不断深入，人类需要有一种功率合适、重量轻、寿命长、成本低，且安全可靠的空间能源。同位素电池（又称核电池）在不同程度上满足了这些要求，在某些方面甚至是其他空间能源（太阳能电池、化学电池、燃料电池）无法替代的。鉴于未来航天活动对电源日益增长的需求，同位素电池将成为空间电源最重要的选择。

放射性同位素的应用是核能利用的一个重要方面。放射性同位素在进行核衰变时释放的能量比一般物质要大得多，而且衰变时间很长，如 1 克镭在衰变中放出的能量比 1 克木柴在燃烧中放出的能量大 60 多万倍，其衰变时间长达 1 万年。因此放射性同位素可以用来制造特种电源——同位素电池。

空间同位素电池（如钚 -238 电池）的特点是：无须对太阳定向，体积小，使用寿命长。同位素电池在外形上与普通干电池相似，呈柱形。在圆柱的中心密封有放射性同位素源，其外面是热离子转换器或热电耦式的换能器。换能器的外层为防辐射的屏蔽层，最外面一层是金属筒外壳。同位素电池还有个特点，就是它在衰变时放出的能量大小、速度，不受外界环境中的温度、化学反应、压力、电磁场等的影响。因此，它以抗干扰性强和工作准确可靠


钚 -238

而成为电池家族中的佼佼者。

1969 年 7 月 21 日，美国航天员乘“阿波罗 11”号飞船成功登上月球。在“阿波罗 11”号飞船上，安装了两个放射性同位素装置，其热功率为 15 瓦，使用的燃料为钚 -238。但是，“阿波罗 11”号上的放射性同位素装置是供飞船在月面上过夜时取暖用的，也就是说它仅仅用于提供热源。所以，该装置又叫作放射性同位素发热器。月球上的一天等于地球上的 27 天。黑夜的时间占一半，一夜约为地球上的两周。太阳能电池在黑夜期间完全停止工作。与此同时，处于背阳的月面，其温度会急剧下降数百度，从酷热一下变成了严寒的世界。为了使卫星上的地震仪、磁场仪以及其他机械能正常工作，必须利用余热进行保温。

在后来发射的“阿波罗 12”号飞船上首次装载的放射性同位素电池——SNAP 27 装置，完全是为了发电用的，它用的燃料是钚 -238，设计输出功率为 63.5 瓦，整个装置重量为 31 千克，设计寿命为 1 年，但实际上，其寿命远远超过设计时考虑的 1 年，并能连续供给 70 瓦以上的电力，完全符合预期的设计要求。由于这一实验获得成功，后来在 1970 年发射的“阿波罗 14”号以及随后的“阿波罗 15”号、“阿波罗 16”号、“阿波罗 17”号等飞船上都相继安装了 SNAP 27 装置。



以钚 -238 为燃料的 SNAP 27 装置



“阿波罗 11 号”宇宙飞船
由“土星 5 号”运载火箭携带升空



在月球严酷的自然环境（白天温度高达102℃，夜晚温度降至零下150℃，酷热与严寒交织）下，同位素电池仍能正常稳定工作，说明同位素电池具有很高的适应性及生存能力。此外，同位素电池在地球轨道卫星（如气象卫星、导航卫星、通信卫星）的应用方面也大有潜力。太空中的卫星对电源的要求特别严格，既要重量轻、体积小，能经受强烈的振动，而且还要求使用寿命长。当然，太阳能电池也可以满足这些要求，实际上现在卫星上使用的能源，也主要是太阳能电池。但是，卫星在太空遨游中总不能都迎着太阳飞，要是在阳光微弱或者没有阳光的空间飞行时，比如到火星或木星上去考察，就得背离太阳飞行，太阳能电池就失去了用武之地，这就得依靠核电池提供电源；有的行星的温度低到零下数百度，见不到一点阳光，这时，太阳能电池也派不上用场，同位素电池则可以大显身手。

美国航天员艾伦·宾为“阿波罗12号”登月舱安装SNAP 27装置

NO.42 人造卫星在太空中运行时如何进行温度控制？

人造卫星在太空中运行，会遇到高温和低温两种环境。因为太阳是一个巨大的热源，在太空的真空环境中又没有传导与对流散热，所以在太阳直接照射人造卫星时，如果不加防护，温度可达100℃以上；但当人造卫星进入地球阴影区时，温度又会低于－100℃以下。显而易见，人造卫星内的各种仪器设备不可能在如此大的温差环境中正常工作。另外，地球的太阳光反射和红外低温辐射也会影响卫星温度；人造卫星内的仪器设备工作时还要向外散发热量。为此，人造卫星都有热控制（或叫温度控制）分系统，把卫星内温度控制在仪器设备可以正常工作的温度范围内。

人造卫星的热控制就是通过控制卫星内外的热交换，使星体各部位及星上仪器设备在整个飞行任务期间都处于正常工作的温度范围内。一般的电子设备，如果长时间工作在50℃以上的环境中就会产生故障，而化学电池等一些设备，如果在0℃以下工作其效率又会很低。所以，虽然卫星外的温差为100℃到－100℃，但人造卫星内的温度一般要保持在5℃～45℃的范围内，个别的部分只允许在恒定的温度下有1℃～2℃的变化范围。

人造卫星的热控制方法有被动式和主动式两种。其中被动式热控制可采用多层隔热、涂层和热管等方法；主动式热控制可采用百叶窗、电加热器、流体循环换热等方法。

被动式热控制

被动式热控制是依靠选取不同的热控材料，合理地组织卫星内外的热量交换过程，其优点是不需要消耗能量，只要在卫星的内外表面及仪器设备上采取相应的措施就能达到热控制的目的。

用多层隔热材料把需要保温的仪器包扎起来是最简单的被动式热控方


美国“信使”号探测器正在安装热控制装置

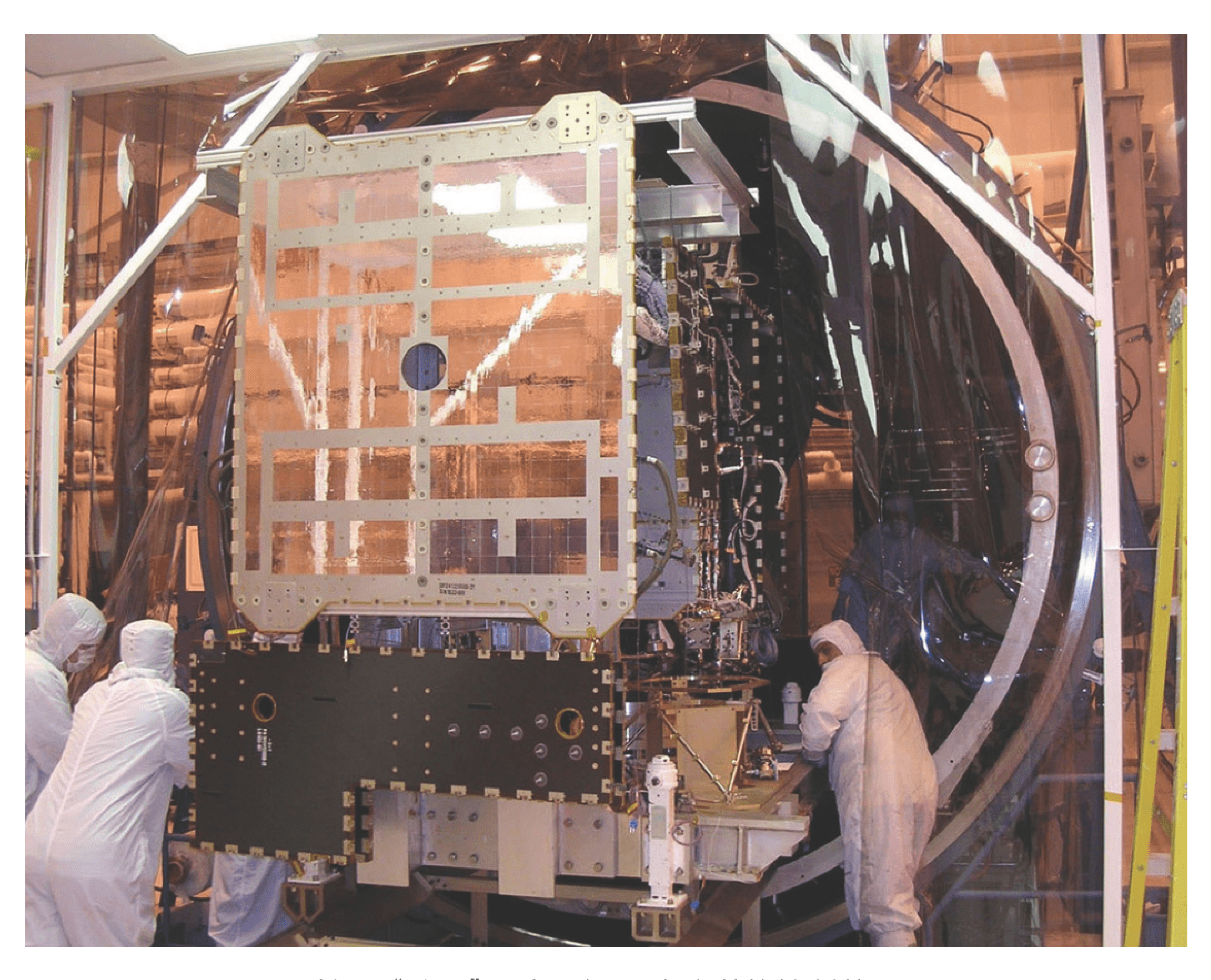


法。这种材料由多层镀铝聚酯薄膜构成，通常用真空沉积法将铝镀到聚酯膜的正面或正反两面。

喷涂法是在人造卫星外表的不同方位喷涂上白漆、三氧化二铝等低吸收辐射比的涂层，使人造卫星吸收太阳的热量与向外辐射的热量达到平衡，以降低蒙皮温度；在卫星壳体的内表面通常喷以高辐射率涂层，以增强各部位之间的内辐射，改善壳体温度的均匀性。也可在人造卫星表面采取抛光或电镀的办法，来提高它的辐射率。

热管是一种传热元件，它充分利用了热传导原理与相变介质的快速热传递性质，透过热管将发热物体的热量迅速传递到热源外，其导热能力超过任何已知金属的导热能力，可以把发热量大的仪器的热量传导到不发热的仪器上。

尽管被动式热控制简单、经济、可靠，但其热控制精度稍低，加之控制的范围有限，本身没有自动调节温度的能力，只适用于一些对温度调节要求比较低、仪器设备发热量不大的人造卫星。一些对温度调节要求比较高的卫星，还需在被动式热控制的基础上采用被动式热控制。



美国“黎明”号探测器正在安装热控制装置

主动式热控制

主动式热控制就像家用的冷热两用空调，通过主动加温或降温来达到热量的平衡。一般来说，人造卫星的表面会安装能活动的百叶窗。这种百叶窗主要由热敏动作器、叶片和底板组成，当卫星内的温度超过要求的范围时，用热敏材料制成的动作器会受到膨胀，使驱动叶片打开，露出表面涂有高反射涂层且与发热量较大设备基座连在一起的底板，从而调节卫星内部的温度。

人造卫星内用的电加热器一般由电热丝、温度敏感元件和恒温控制器组成，具有结构简单、使用方便、控制精度高等优点，既可以用于整舱的主动热控制，也能用于个别仪器的温度调节，但需消耗卫星上的宝贵电能，只限用于能源比较充裕的卫星上。

流体循环换热主要用于发热量多的大型人造卫星或载人航天器。它是采用一套复杂的流体循环换热装置，即在卫星的各个部位和仪器上用热收集器收集热量，然后收集的热量通过导管中液体的流动带到一个热交换器上，再由热交换器把热量传到热辐射器，最后通过辐射器把热量辐射到空间。

在大多数的情况下，人造卫星一般采用被动和主动两种方式联合工作，以确保温度控制的可靠性和高效率。



美国詹姆斯·韦伯太空望远镜正在进行热控制测试

欧洲环境卫星在轨运行示意图



NO.43 人造卫星有哪些姿态控制方法?

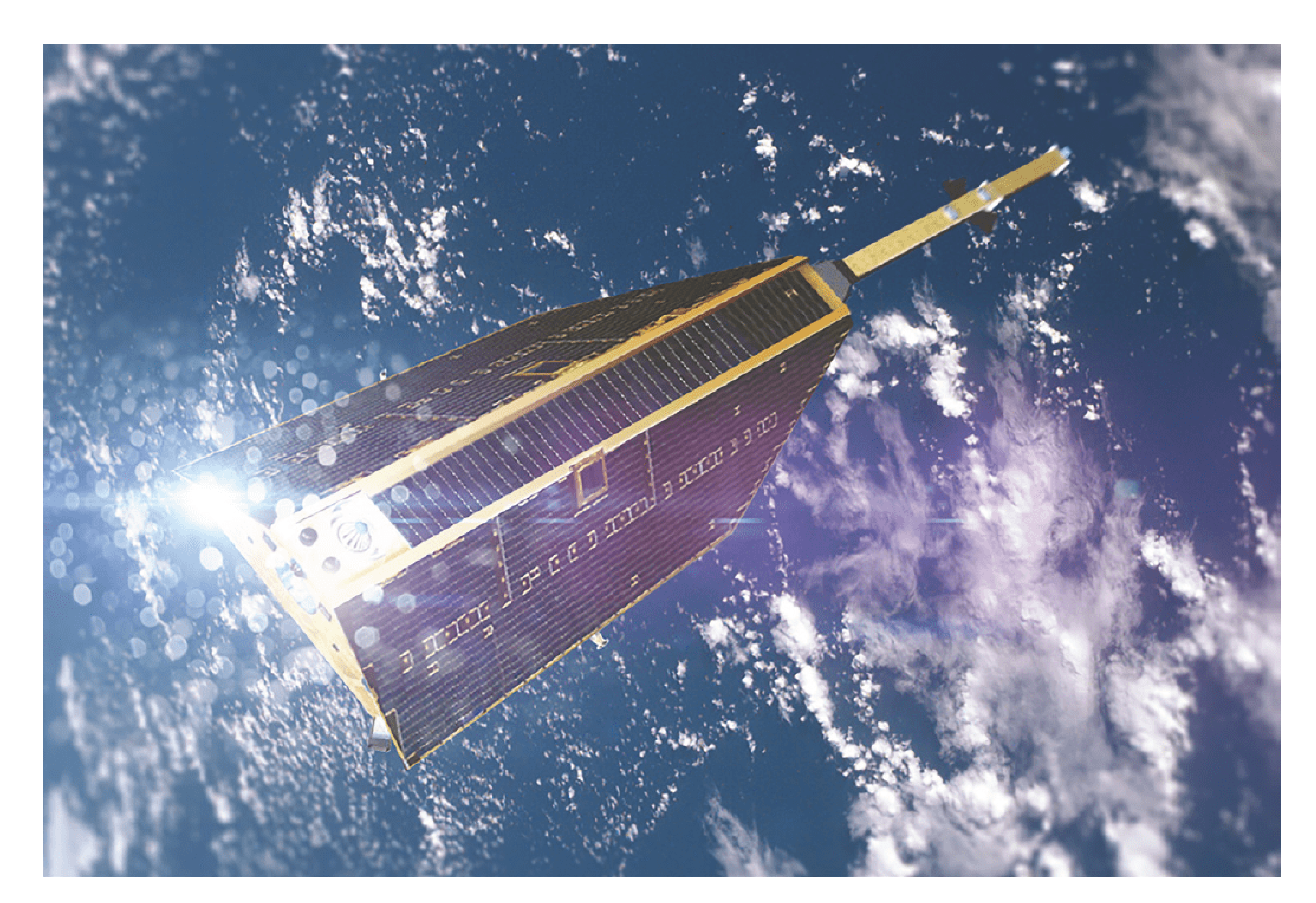
根据对卫星的不同工作要求，卫星姿态的控制方法也是不同的。按是否采用专门的控制力矩装置和姿态测量装置，可以把卫星的姿态控制分为被动姿态控制和主动姿态控制两类。

被动姿态控制

被动姿态控制是利用卫星本身的动力特性和环境力矩来实现姿态稳定的方法。被动姿态控制方式有自旋稳定、重力梯度稳定等。

1）自旋稳定

有的卫星要求其一个轴始终指向空间固定方向，通过卫星本体围绕这个轴转动来保持稳定，这种姿态稳定方式就叫自旋稳定。它的原理是利用卫星绕自旋轴旋转所获得的陀螺定轴性，使卫星的自旋轴方向在惯性空间定向。早期的卫星大多采用这种简单的控制方式。使卫星产生旋转可以用在卫星的



德国“挑战性小卫星有效载荷”（CHAMP）卫星在轨运行示意图

表面沿切线方向对称地装上小火箭发动机，需要时就点燃小发动机，产生力矩，使卫星起旋或由末级运载火箭起旋。我国的东方红一号卫星、东方红二号通信卫星和风云二号气象卫星都是采用自旋稳定的方式。

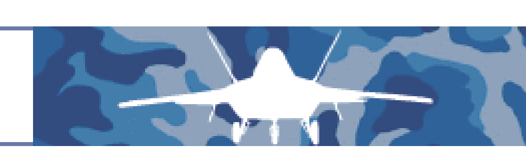
2）重力梯度稳定

重力梯度稳定是利用卫星绕地球飞行时，卫星上离地球距离不同的部位受到的引力不等而产生的力矩（重力梯度力矩）来稳定的。例如，在卫星上装一个伸杆，卫星进入轨道后，让它向上伸出，伸出去后其顶端就比卫星的其他部分离地球远，因而所受的引力较小，而它的另一端离地球近，所受的引力较大，这样所形成的引力之差对卫星的质心形成一个恢复力矩。如果卫星的姿态（伸杆）偏离了当地铅垂线，这个力矩就可使它恢复到原来姿态。该种控制方式简单、实用，但控制精度较低。

主动姿态控制

主动姿态控制，就是根据姿态误差（测量值与标称值之差）形成控制指令，产生控制力矩来实现姿态控制的方式。

许多卫星在飞行时要对其相互垂直的三个轴都进行控制，不允许任何一个轴产生超出规定值的转动和摆动，这种稳定方式称为卫星的三轴姿态稳定。

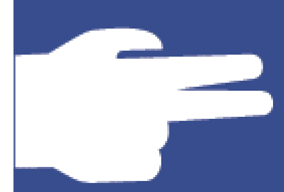




法国“地球观测系统”（SPOT）卫星在轨运行示意图

目前，卫星基本上都采用三轴姿态稳定方式来控制，因为它不仅适用于在各种轨道上运行的、具有各种指向要求的卫星，也可用于卫星的返回、交会、对接及变轨等过程。

实现卫星三轴姿态控制的系统一般由姿态敏感器、姿态控制器和姿态执行机构三部分组成。姿态敏感器的作用是测量卫星的姿态变化；姿态控制器的作用是把姿态敏感器送来的卫星姿态角变化值的信号，经过一系列的比较、处理，产生控制信号输送到姿态执行机构；姿态执行机构的作用是根据姿态控制器送来的控制信号产生力矩，使卫星姿态恢复到正确的位置。



NO.44　火星车太阳翼如何解决除尘问题？

火星车是指在火星登陆用于火星探测的可移动探测器，是人类发射的在火星表面行驶并进行考察的一种车辆。20 世纪末到 21 世纪初，美国相继发射了 4 辆火星车，即“索杰纳”号、“勇气”号、“机遇”号和“好奇”号。探测车的质量从 11.5 千克的微型探测车，发展到约 900 千克的中型探测车，

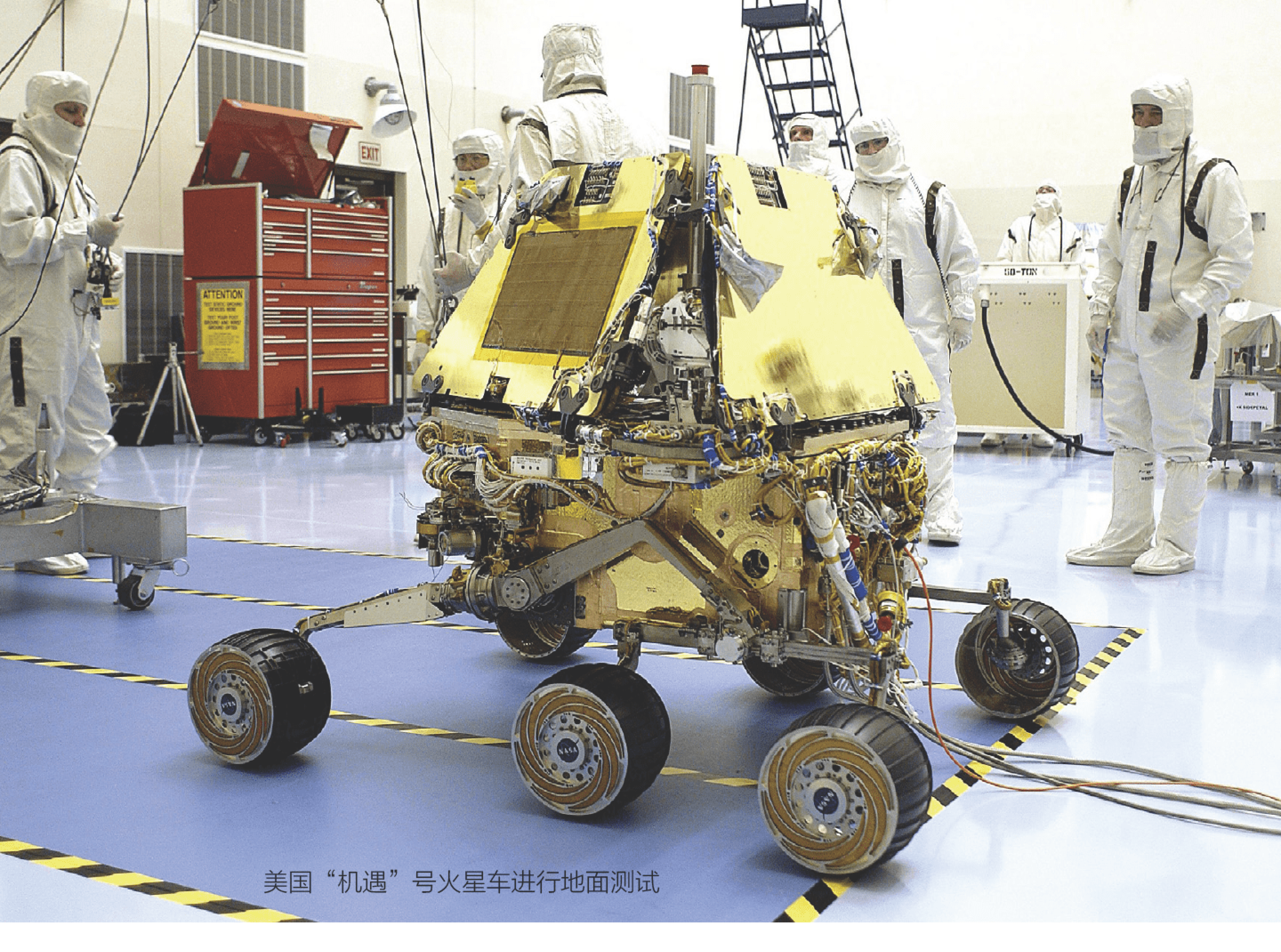
最远的行驶距离已经超过马拉松比赛的长度。目前，美国国家航空航天局和欧洲航天局都有火星车发射计划，将利用 2018 年、2020 年附近合适的窗口发射。

火星车设计时，首先需要考虑风的影响。通常情况火星表面的风速夜间时为 2 米 / 秒，白天为 6 ～ 8 米 / 秒，虽然火星表面气体密度只有地球表面的 1/120，但是火星风仍然可以导致尘埃飞扬。发生尘暴时，风速更可以达到 50 米 / 秒以上。

火星车工作在火星表面，不可避免地会受到火星尘的影响。火星尘主要是由 4 个因素导致的：发动机羽流喷射、着陆冲击、火星车移动携带和自然激扬。对火星车而言，影响最大的因素是火星尘暴引起的火星尘自然激扬。

火星尘的影响主要包括：吸附在光学设备表面，导致其成像性能的降低；进入机构内部，影响其正常运动；吸附在太阳电池阵表面，影响太阳电池阵的输出功率；热控涂层表面黏附火星尘后会导致其性能下降，改变探测器的温度分布；火星车释放过程中如转移机构上附有火星尘，则影响车轮与转移机构间的接触状态，影响释放过程的安全性。最直接的影响就是导致太阳能电池输出功率下降。


美国“勇气”号火星车运行示意图


美国“机遇”号火星车进行地面测试

基于“索杰娜”号火星车获得的数据，尘埃覆盖率为 0.28%/ 天，太阳电池发电效率衰减率为 0.29%/ 天。基于“勇气”号火星车获得的数据，前 150 天衰减率为 0.2%/ 天，之后衰减率为 0.06%/ 天。

为了降低火星尘沉积对火星车太阳能电池输出功率的影响，各国会采用以下几种除尘方法。

（1）自然除尘。利用火星风进行尘埃清除。在低气压的火星环境下，除尘所需要风速比在地球大气压下的要高，当在火星风速大于 35 米 / 秒时，才能清除大部分微尘。而从“海盗号”探测器对风速 100 多天的探测结果表明：其着陆点的最大风速仅为 25 米 / 秒，因此通过风除尘的方案可靠性差。

（2）机械除尘。利用擦拭、喷吹、摇动、振动或超声波等方式除尘。擦拭除尘类似汽车雨刮，但在擦拭过程中，火星尘颗粒可能会划伤太阳能电池表面。喷吹除尘是采用压缩气体直接喷吹太阳翼上的微尘。摇动、振动除尘则需增加摇动、振动机构，或利用太阳翼自身驱动机构实现太阳翼的抖动。还可以增加超声波发生器，利用超声波除尘。机械除尘方法均需要付出较大的重量代价。

（3）静电除尘。火星尘在射线作用下以及在与大气摩擦中会产生电荷，

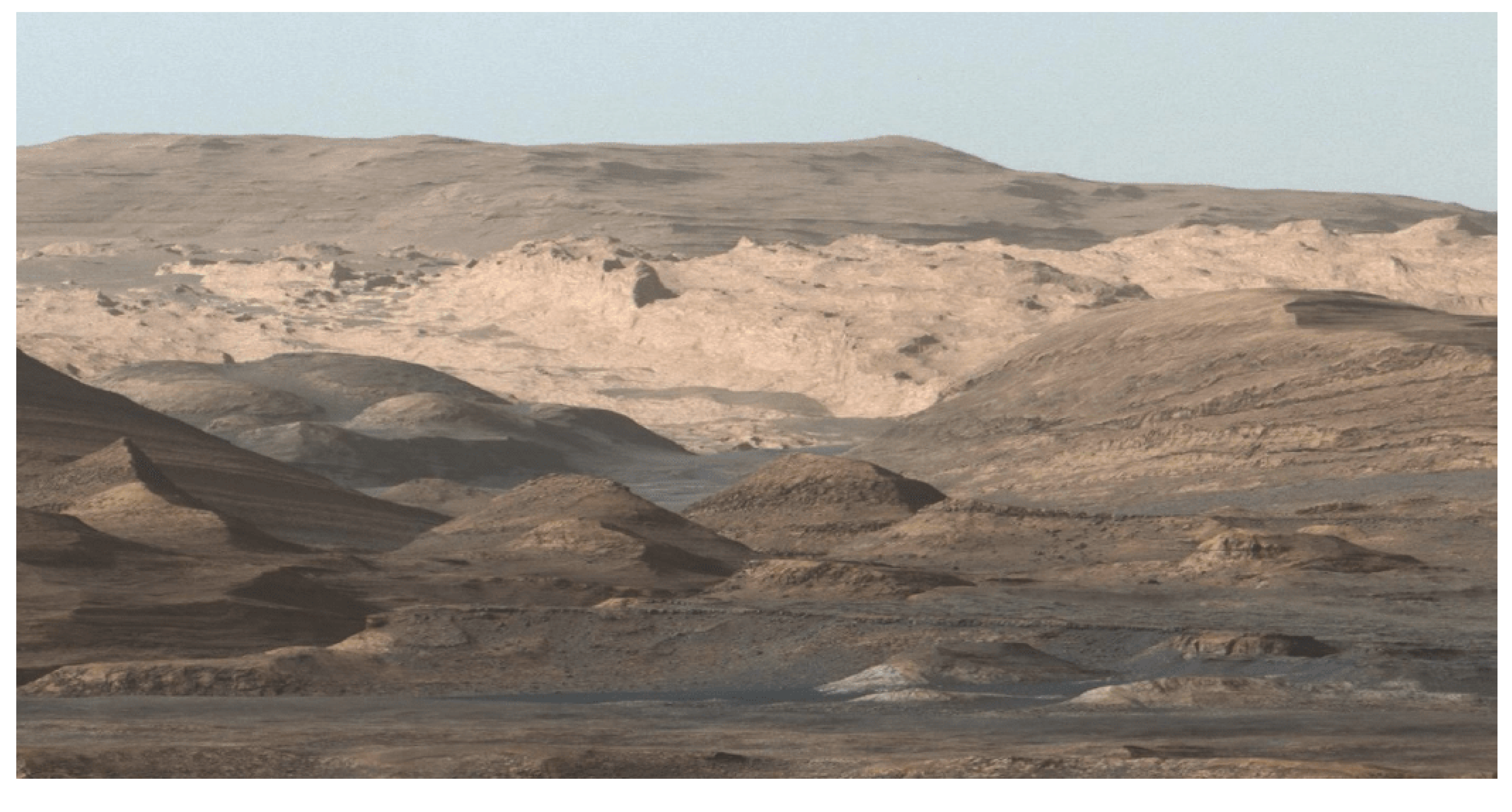
利用电荷同性相斥原理，实现除尘。

（4）隔离除尘。可以选用滚轴更换薄膜方案或者充气脱膜方案。滚轴更换薄膜方案中，薄膜位于太阳翼上部，阻挡灰尘，当薄膜变脏时，通过滚动滚轴，更换干净的薄膜。充气脱膜方案将带有囊体的透明薄膜覆盖在火星车太阳翼上，灰尘直接落在透明薄膜上，当薄膜落尘较多时，通过充气膨胀薄膜囊体，实现薄膜与太阳翼脱离。但这两种方案均无法长期保证除尘效果。



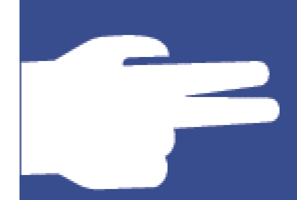
美国“好奇”号火星车
在火星夏普山脚下的自拍

（5）表面工程技术除尘。利用表面工程技术实现太阳翼除尘，具有代价小，性能稳定等特点，具有较大的发展前途。目前，这一技术的典型代表就是超疏基结构。构建超疏基表面的结构通常需要两个步骤，一是在材料表面构建微观结构，如脊状结构、柱状结构、球状结构等；二是在粗糙的表面修饰低表面能物质。由于降低表面能在技术上容易实现，因此超疏基表面制备技术的关键在于根据材料特性采取合适的技术构建合适的微观结构。



美国“好奇”号火星车拍摄的火星照片





NO.45 中继卫星被称为“卫星的卫星”的原因是什么？

中继卫星的正式名称为跟踪与数据中继卫星（tracking and dada relay satellite，TDRS），它是20世纪航天测控通信技术的重大突破。其“天基”设计思想，从根本上解决了测控、通信的高覆盖率问题，同时还克服了高速数传和多目标测控通信等技术难题。

中继卫星能为卫星、飞船等航天器提供数据中继和测控服务，极大提高各类卫星使用效益和应急能力，因此它也被称为“卫星的卫星”。鉴于此，世界各航天大国都在积极开展中继卫星的研发工作。目前，美国与俄罗斯两国的跟踪与数据中继卫星系统均已进入应用阶段，正在发展后续系统；欧洲航天局和日本则采用了新的思路和技术途径。



美国 TDRS 项目徽章

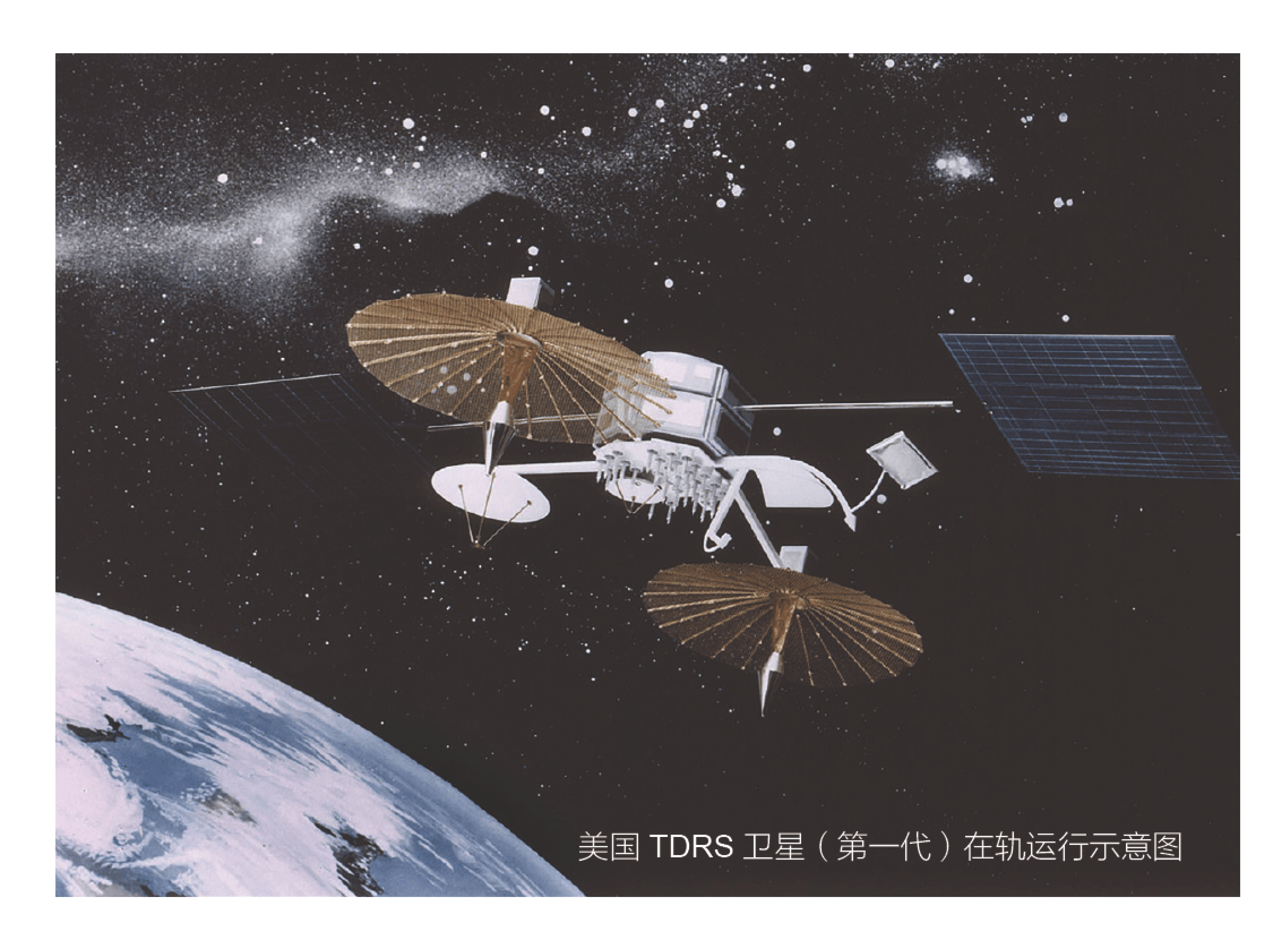
中继卫星的用途

（1）跟踪、测定中、低轨道卫星：为了尽可能多地覆盖地球表面和获得较高的地面分辨能力，许多卫星都采用倾角大、高度低的轨道。中继卫星几乎能对中、低轨道卫星进行连续跟踪，通过转发它们与测控站之间的测距和多普勒频移信息实现对这些卫星轨道的精确测定。

（2）为对地观测卫星实时转发遥感、遥测数据：气象、海洋、测地和资源等对地观测卫星在飞经未设地球站的上空时，把遥感、遥测信息暂时存贮在记录器里，而在飞经地球站时再转发。中继卫星能实时地把大量的遥感和遥测数据转发回地面。

（3）承担航天飞机和载人飞船的通信和数据传输中继业务：地面上的航天测控网平均仅能覆盖15%的近地轨道，航天员与地面上的航天控制中心直接通话和实时传输数据的时间有限。两颗适当配置的中继卫星能使航天飞机和载人飞船在全部飞行的85%时间内保持与地面联系。

（4）满足军事特殊需要：以往各类军用的通信、导航、气象、侦察、监视和预警等卫星的地面航天控制中心，常需通过一系列地球站和民用通信

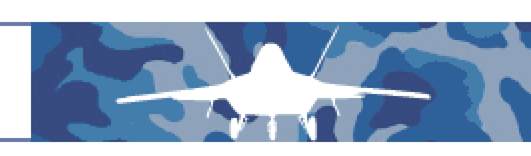

美国 TDRS 卫星（第一代）在轨运行示意图

网进行跟踪、测控和数据传输。中继卫星可以摆脱对绝大多数地球站的依赖，而自成一独立的专用系统，更有效地为军事服务。

中继卫星的优点

中继卫星相当于把地面上的测控站升高到了地球卫星轨道高度，与地面测控站相比，中继卫星“站得更高”，自然也能“看得更远”。它可以将中低轨道的卫星一览无余，并能将中低轨道产生的数据和中低轨道卫星需要的数据，与地面测控站相连，能有效解决卫星数据传输的问题。两颗中继卫星组网就能基本覆盖整个中、低轨道的空域。因此由两颗卫星和一个测控站所组成的跟踪和数据中继卫星系统，可以取代配置在世界各地由许多测控站构成的航天测控网。

相比一般的通信卫星，中继卫星有“三高”优势，即高动态、高码速率和高轨道覆盖率。因此，中继卫星主要用于跟踪、测定中、低轨道卫星；为对地观测卫星实时转发遥感、遥测数据；承担航天器的通信和数据传输中继业务。以往各类通信、导航、气象、侦察、监视和预警等卫星的地面航天控制中心，要通过一系列地面站和民用通信网进行跟踪、测控和数据传输。而中继卫星可以摆脱对绝大多数地面站的依赖，自成独立的专用系统，更有效地为用户提供服务。





美国 TDRS 卫星（第二代）在轨运行示意图



位于关岛的美国 TDRS 地面站

NO.46 地球静止轨道光学侦察卫星被称为“间谍卫星之王”的原因是什么？

地球静止轨道光学侦察卫星是美国、法国和俄罗斯等航天大国正在研究的新型侦察卫星，该卫星运行在35800千米高的地球同步轨道，可对地球40%的面积进行持续侦察。由于地球静止轨道光学侦察卫星拥有超强的持续侦察能力，因此有“间谍卫星之王”的称号。

目前，光学成像侦察卫星作为许多国家重要的天基信息获取系统，一直是各航天大国重点发展的装备。现役光学侦察卫星为了保证分辨率，大多都运行在地球低轨道或是太阳同步轨道上，运行轨道高度一般集中在几百千米至1000千米左右。有些光学侦察卫星为了获得更大的侦察视场，覆盖更广的范围，运行轨道会高于1000千米。例如，美国的8X混合成像侦察卫星，其运行轨道高度为2000千米。还有声名远扬的美国KH-12“锁眼”侦察卫星，该卫星全色分辨率可达0.1～0.15米，运行在近地点398千米，远地点869千米的太阳同步轨道上。

光学成像侦察卫星因在低轨道运行，从而获得了较高的分辨率，但从另一方面来讲，低轨道的特性也使得常规光学成像侦察卫星具有周期长、覆盖范围小等缺点。以KH-12卫星为例，其绕地球轨道运行一圈的时间为90.56分钟，加上地球公转和自转的因素，KH-12卫星每天飞行至某一特定地区上空只有1～2次机会。因此，只要根据卫星的运行周期计算出过顶时间，采取相应的措施就可以逃避KH-12卫星的侦察。

随着武器装备技术和战场环境的转变，各航天大国对战场持续侦察和监视的需求延伸到天基侦察平台，开始寻求具备持续侦察和监视能力的光学侦察卫星。虽然通过光学侦察卫星组网是实现持续侦察能力的一个途径，但这种方法存在耗资大等缺陷。由于提高卫星轨道可使卫星在侦察目标上空驻留更长的时间，因此如果将卫星轨道提升至地球静止轨道，侦察卫星就可实现对目标的长时间监视和侦察。且人造地球卫星静止轨道只有一条，轨道倾角为零，只要在轨道上均匀分布3颗卫星，理论上就可以覆盖全球。

地球静止轨道光学侦察卫星的高时效性和持续监视侦察能力，已成为当前光学侦察卫星的一个重要发展方向。目前，部署静止轨道光学侦察卫星的难点主要集中在光学系统。根据相关资料显示，如果将全色分辨率为0.1米的低轨道光学侦察卫星调到静止轨道，其理论分辨率将会降到18米左右。

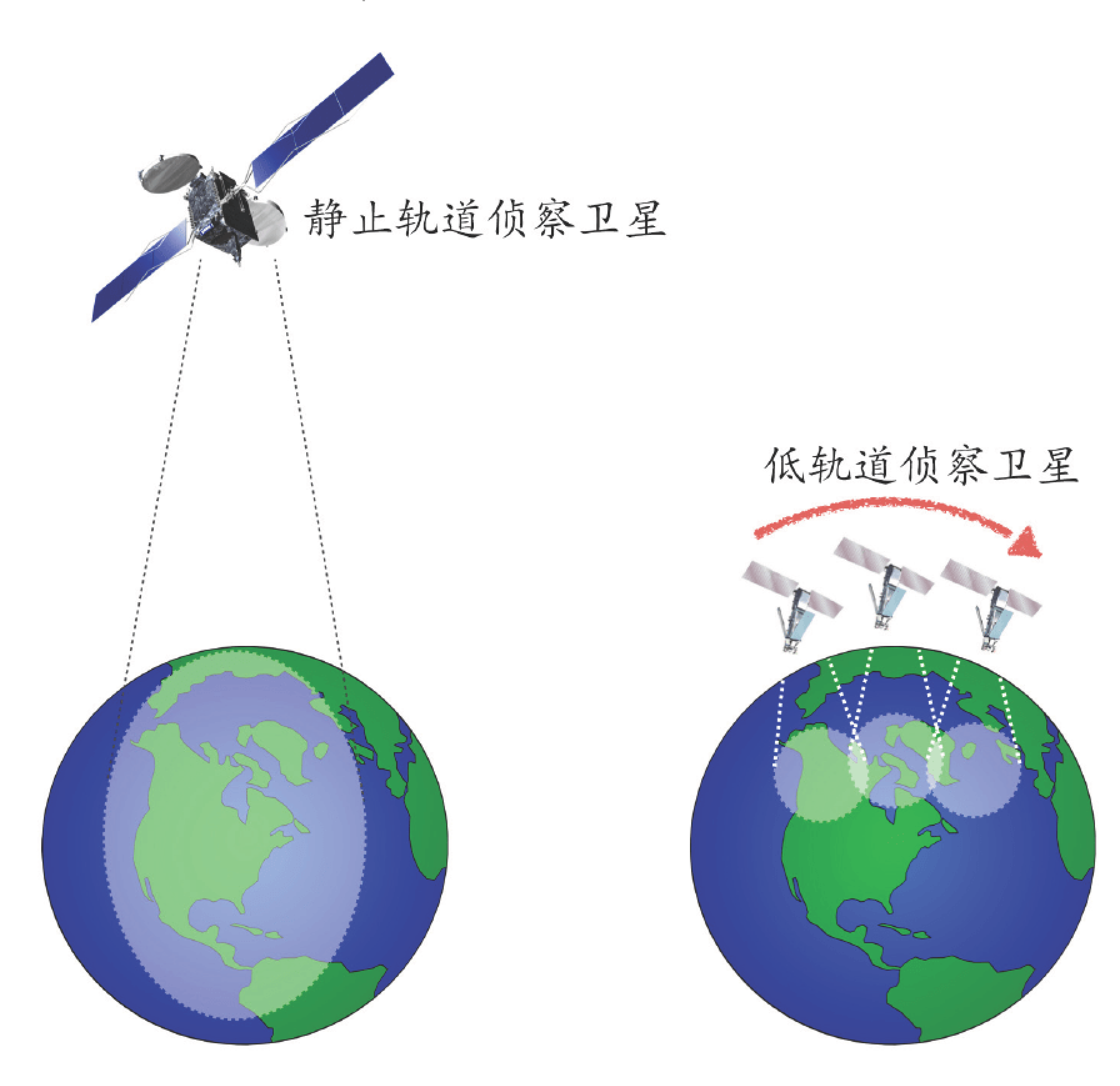


但即便是这种分辨率，卫星仍可以发现桥梁、公路等大型地面目标。

扩大光学系统口径是提高分辨率的重要途径，相对于低轨道光学侦察卫星，要得到同等分辨率，如果采用增大光学系统口径的方法，静止地球轨道光学侦察卫星的口径需要比低轨道光学侦察卫星的口径大将近 100 倍。这不仅在物镜光学加工制造上有极大的难度，而且卫星庞大的体积和重量也会使目前的火箭将其无法发射到太空。

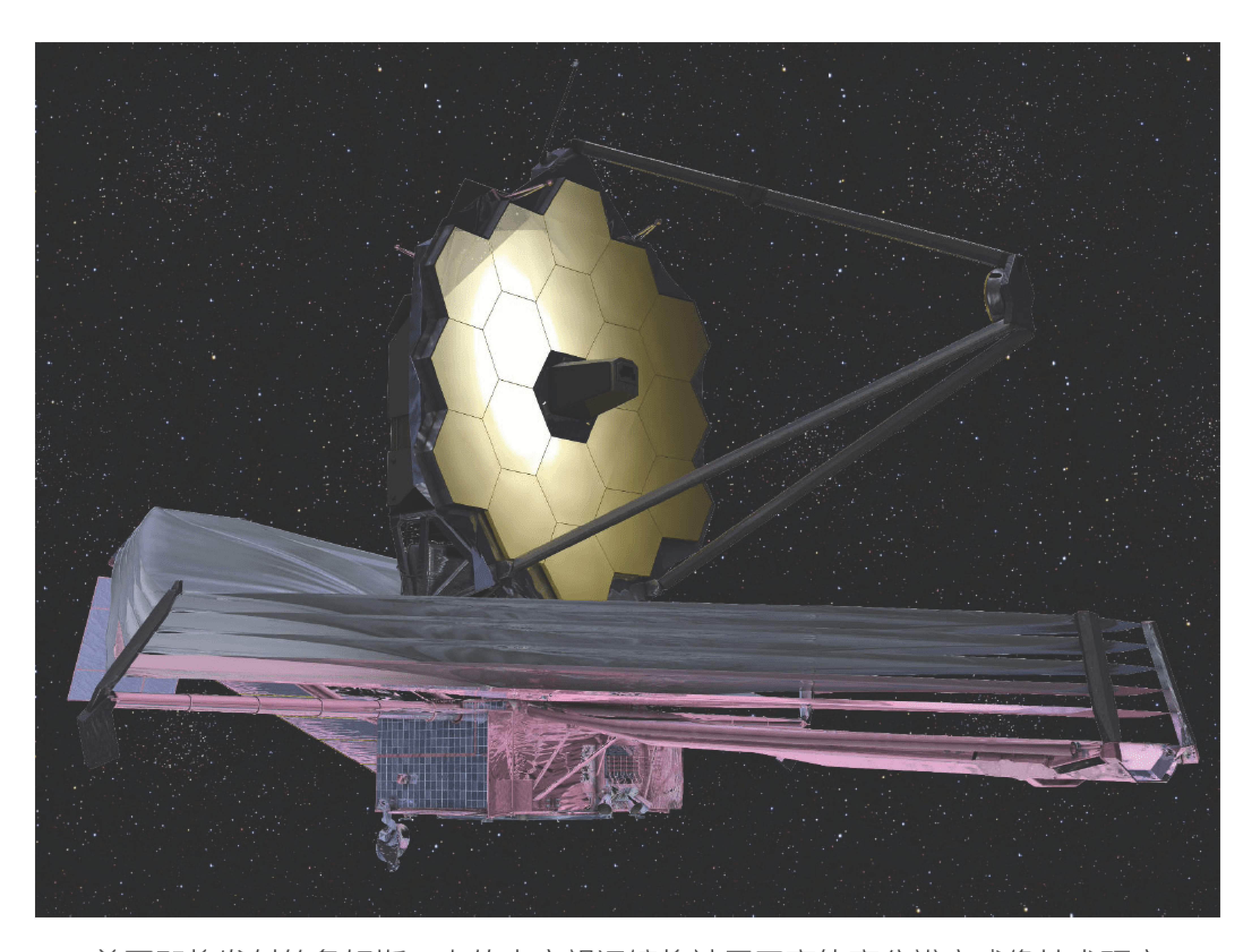
因此，为了适应未来静止轨道光学侦察卫星高分辨率侦察的需求，就需要在光学技术上有所创新突破，在目前火箭最大静止轨道运载能力固定的前提下，研制出符合战术需求的光学侦察卫星系统。现在静止轨道光学侦察技术主要有可展开光学技术、稀疏孔径成像技术等。

一旦高分辨率静止轨道光学成像技术达到实用化，人类将具有对地全时段持续监视目标的能力，这将是航天侦察领域的一次革命。因为静止轨道光学侦察卫星的成像幅宽要远远高于低轨道光学侦察卫星，加上其通常采用的“凝视”技术，因此可同时观测全视场内发生的现象，这意味着其具备对运动目标的实时监视能力，极大提高了卫星使用方的战场实时监视和侦察能力。



静止轨道侦察卫星和低轨道侦察卫星的侦察范围对比图

此外，天基战场实时监视和侦察能力的提升，也有助于强化使用方对时间敏感目标的打击能力。现代战争对打击时间敏感目标的要求越来越迫切，对时间敏感目标的打击已经成为夺取战争胜利的一个有效手段。以打击航空母舰为例，静止轨道光学侦察卫星利用其独特的战场实时监视和侦察能力，可实时监视移动中的航空母舰，再结合海洋监视卫星和超视距雷达，就可以及时可靠地对航空母舰编队进行监视，为反航空母舰作战提供精确的实时信息。



美国即将发射的詹姆斯·韦伯太空望远镜将被用于高轨高分辨率成像技术研究



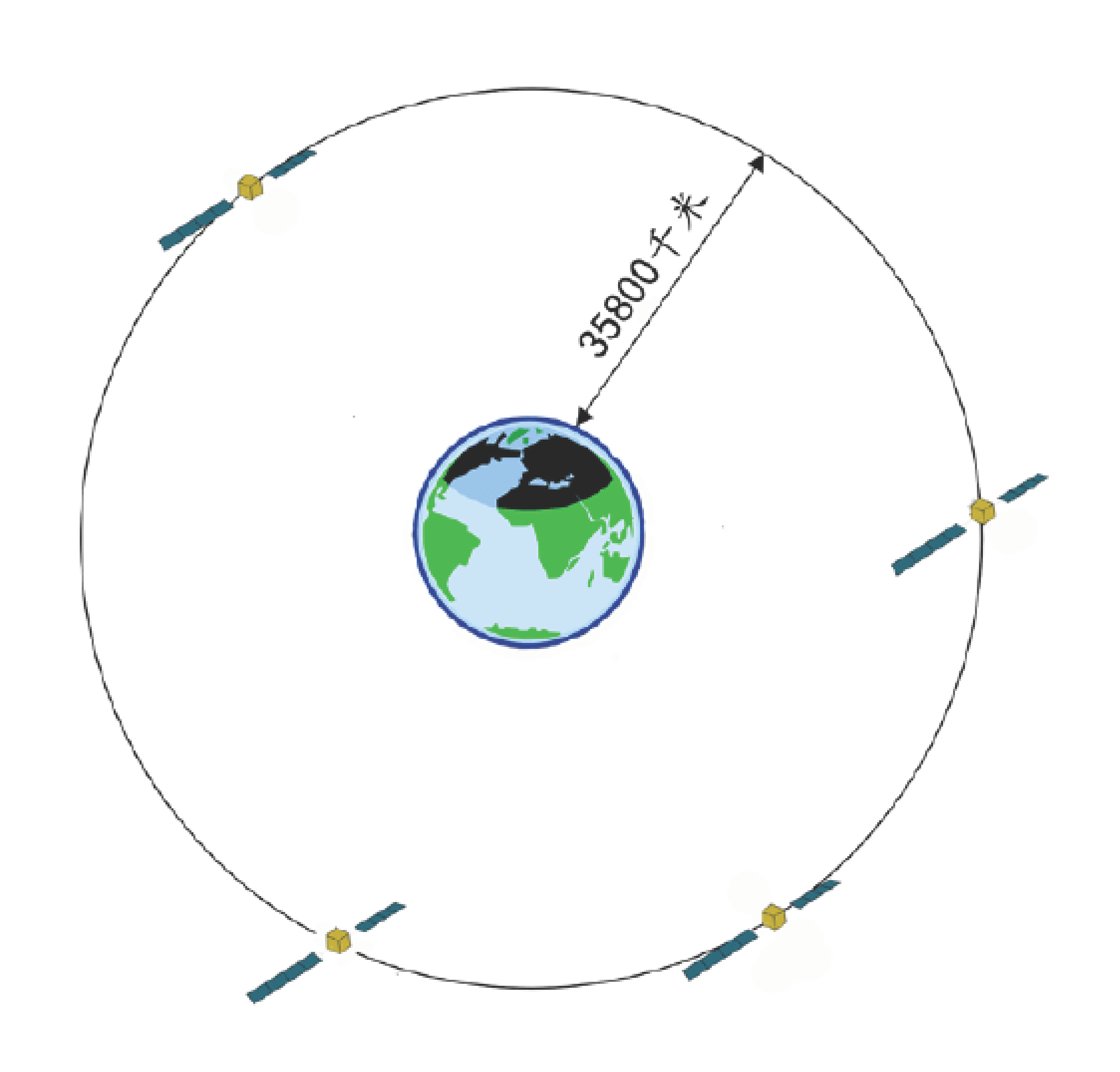
NO.47　发射静止轨道卫星一般需要哪些步骤？

地球静止轨道距地面约有 35800 千米、倾角为 0 度、运行周期与地球自转周期相同。静止轨道卫星一般用三级运载火箭发射并由装在卫星上的远地点发动机完成轨道变换过程。整个发射过程的设计需要考虑能量的最佳利用和变轨过程的控制问题。



在卫星定点以前的发射过程通常分为 3 个阶段。

（1）用一、二级运载火箭（或航天飞机）将三级火箭和卫星的组合体送入 200 ～ 400 千米的近地轨道，即“停泊轨道”。



地球静止轨道示意图

（2）卫星在停泊轨道上经过测试后，在飞经赤道上空时第三级火箭点火，使卫星沿飞行方向加速，进入大椭圆轨道（称“过渡轨道”）并与三级火箭脱离。这个轨道的近地点高度与入轨点相同，远地点高度为 35800 千米，而且都位于赤道上空。

（3）卫星运行到过渡轨道远地点时，航天测控站发出遥控指令使卫星远地点发动机点火，向卫星施加具有特定方向和大小的推力，改变卫星飞行的方向和速度，借以达到两个目的：一是使卫星运行的轨道平面转到赤道平面内；二是使卫星的合成速度接近于静止轨道速度（3.07 千米 / 秒）。

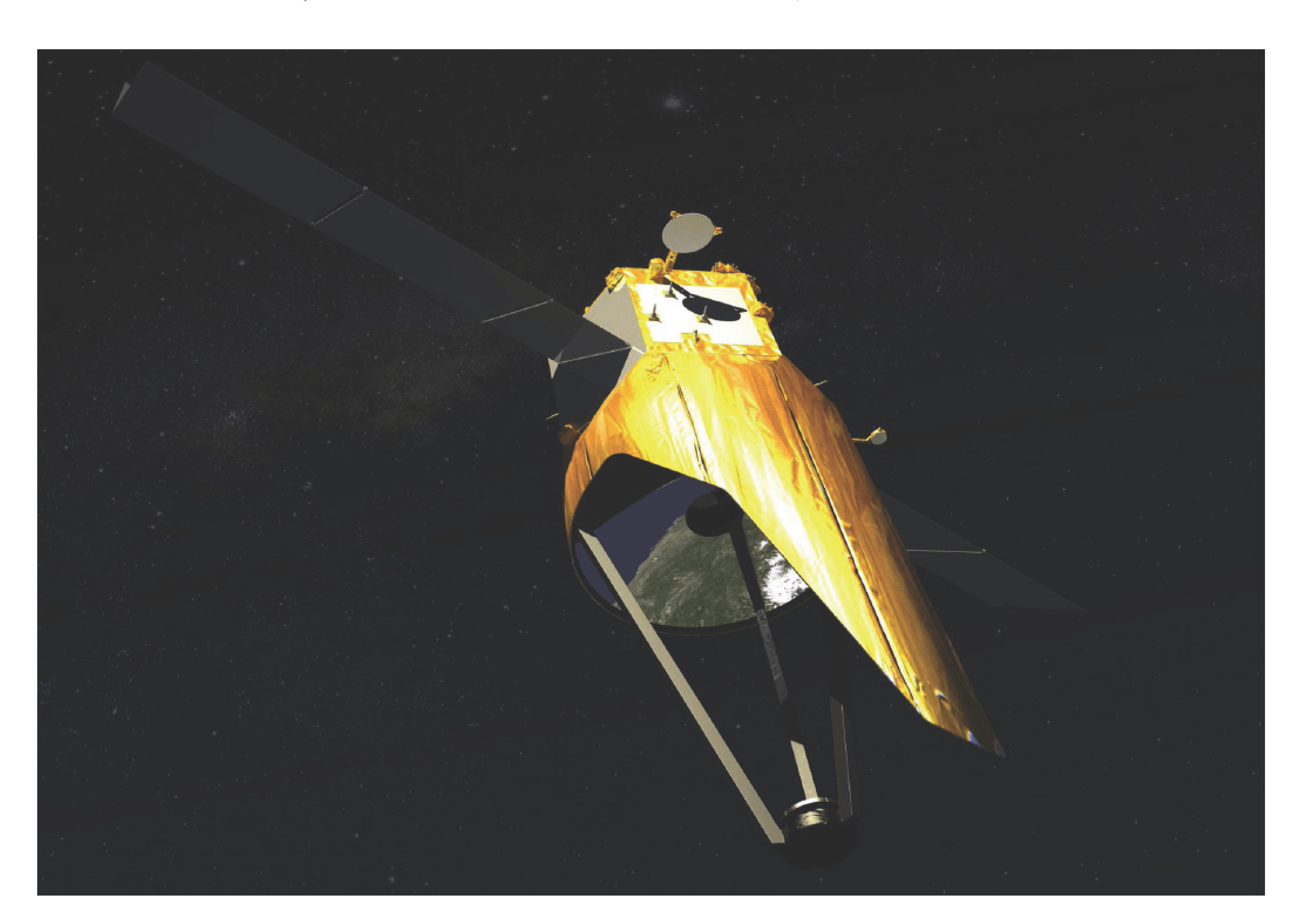
发射阶段完成后，卫星还要实施定点。卫星定点必须满足四个条件：卫星轨道周期恰好与地球自转周期相同；卫星轨道为圆轨道；卫星轨道倾角为零度；卫星定点位置要符合预先分配的位置。

静止卫星的定点捕获就是通过一系列的轨道微调，使卫星恰好在预定地理经度的赤道上空停止漂移。这时利用卫星上携带的小发动机逐步修正卫星轨道，使其逼近静止轨道，令卫星停止漂移，这一轨道微调过程称为轨道控制，一般是在轨道的拱点（近地点或远地点）进行。这种细致的调整需要几天或更长的时间才能完成。

轨道控制过程由航天测控站按计划遥控进行：调整卫星姿态和转速使其符合控制要求；精确地测定轨道以确定调整量的大小；最后在卫星到达定点位置之前，再做一次小的轨道调整，使其停止漂移准确定点。静止卫星定点后还需要进行姿态调整和不断的保持位置。

值得一提的是，地球静止轨道只有一条，在这一条轨道上不可能放置太多的卫星，否则它们之间会产生无线电干扰，导致轨道资源十分紧张。世界上越来越多的国家为建立自己独立的卫星通信系统，竞相向地球静止轨道发射自己的通信卫星。由于静止轨道卫星数目的不断增加，致使有限的地球静止轨道上挤满了通信卫星，特别是在欧洲、印度洋和美洲的三个静止轨道弧

段内，轨道不足的矛盾日益尖锐。按照以往的卫星技术，两颗静止卫星间隔在 1 度以上，信号干扰强度才不致影响通信质量。但随着卫星技术的提高，特别是抗干扰能力的增强，两颗相邻卫星的间隔可以缩短，但也不能无限靠近。因此，静止轨道所能容纳的通信卫星数量仍然是有限的。

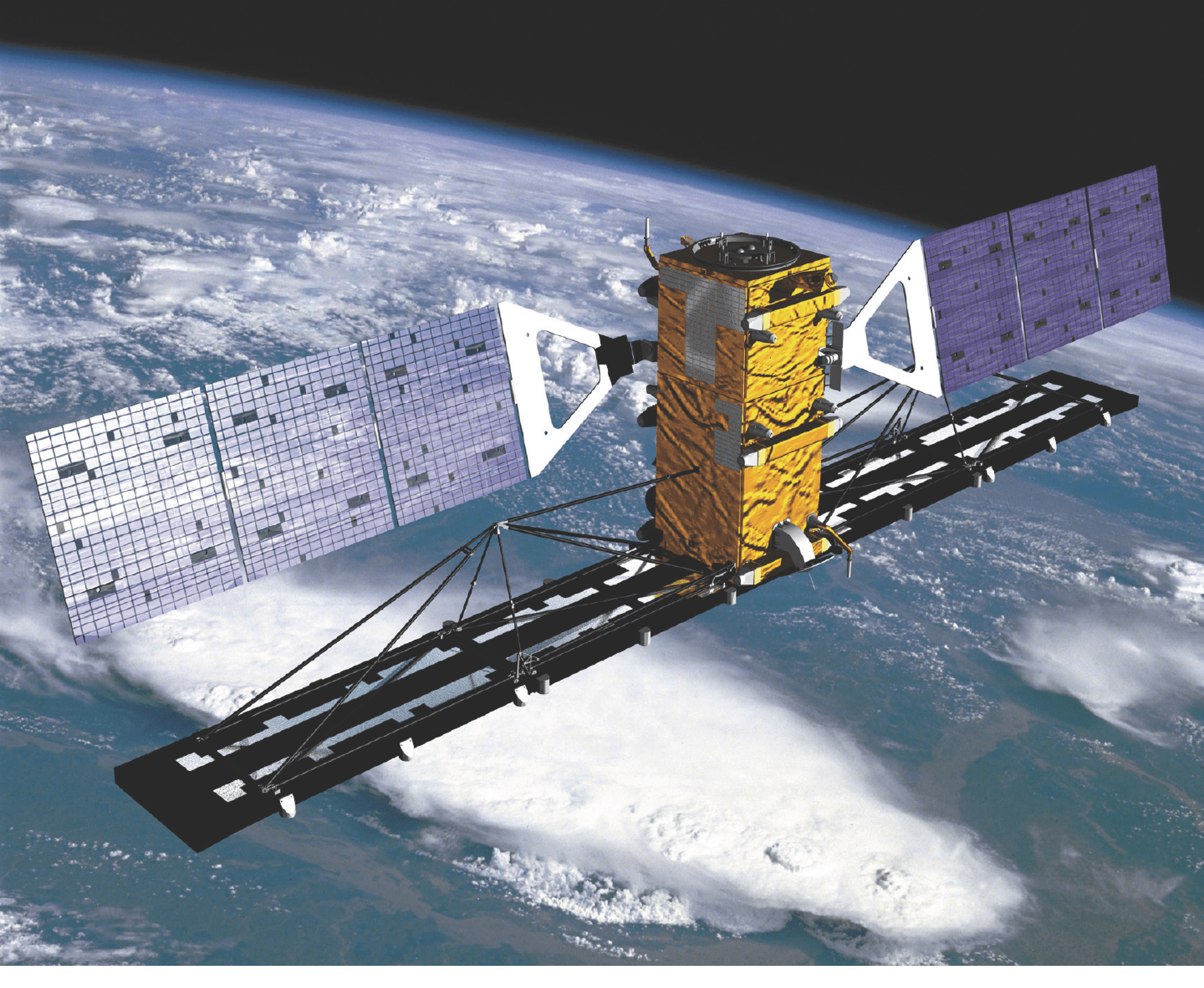


欧洲阿斯特里姆公司正在研制的 GO-3S 地球静止轨道光学侦察卫星

NO.48 雷达成像卫星与光学照相侦察卫星相比有何优点？

光学照相侦察卫星作为一种重要的空间侦察手段，被誉为太空中的“眼睛”，它是利用光学成像设备进行侦察，获取军事情报的卫星。目前，最好的光学照相侦察卫星所拍摄的图像可以分辨出汽车尾部的牌照。不过，光学照相侦察卫星很难在有云层遮掩或夜幕下拍摄侦察目标。

雷达成像卫星是利用星载雷达获取目标图像信息的人造卫星，具有成像速度快、覆盖面积大、成像条件不受光照和云雾等气象条件的限制等特点，可弥补光学照相侦察卫星的不足，在军用和民用遥感领域都具有重要应用价值。



加拿大 RADARSAT-2 雷达成像卫星在轨运行示意图

雷达成像卫星的雷达向地面发射微波脉冲信号，雷达接收到目标及其背景的回波，经过信号处理得到图像，利用目标与背景对雷达波散射特性的不同，把目标从背景中区分出来，可以测定目标的位置和外形。雷达成像卫星可全天候拍摄目标，并能侦察到传统照片无法得到的信息，例如，埋入地下的管道和掩体等目标。例如，海湾战争中美国曾利用“长曲棍球”雷达成像卫星发现伊拉克的沙漠地下军事设施和掩体。

根据成像过程的不同特点，雷达成像卫星可分为普通雷达成像卫星和合成孔径雷达成像卫星两种。普通雷达成像卫星主要获取目标反射波中的振幅信息进行成像，其图像分辨率与雷达工作波长成反比，与雷达天线的尺寸成正比。为了提高分辨率，需采用大孔径雷达天线，但由于受卫星平台的限制，天线的尺寸不可能太大，因此图像的分辨率不高，不能分辨小目标。合成孔

径雷达成像能获取目标回波中的振幅和相位两种信息进行成像，图像分辨率有很大提高，但信息处理技术比较复杂。由于雷达成像卫星的成像原理与光学照相不同，因而，对雷达成像图片的判读也需要采取完全不同的方式。

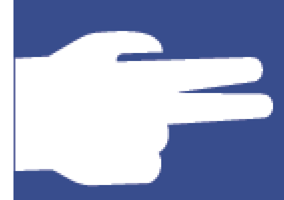
当前，美国、俄罗斯、加拿大和德国等先后发展了自己的雷达成像卫星，成像分辨率最高已达 1 米。由于电子技术、信号处理技术等的发展，合成孔径雷达成像已经成为雷达成像卫星发展的主流。特别随着微机械、微电子等微机电技术的发展与日益成熟，为发展低成本、高分辨率的微小型雷达成像卫星星座奠定了技术基础。



德国 SAR-Lupe 雷达成像卫星模型


展览中的美国 KH-8 光学照相侦察卫星



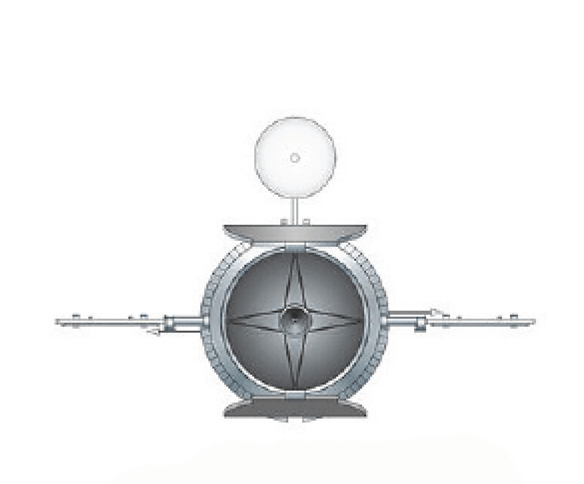


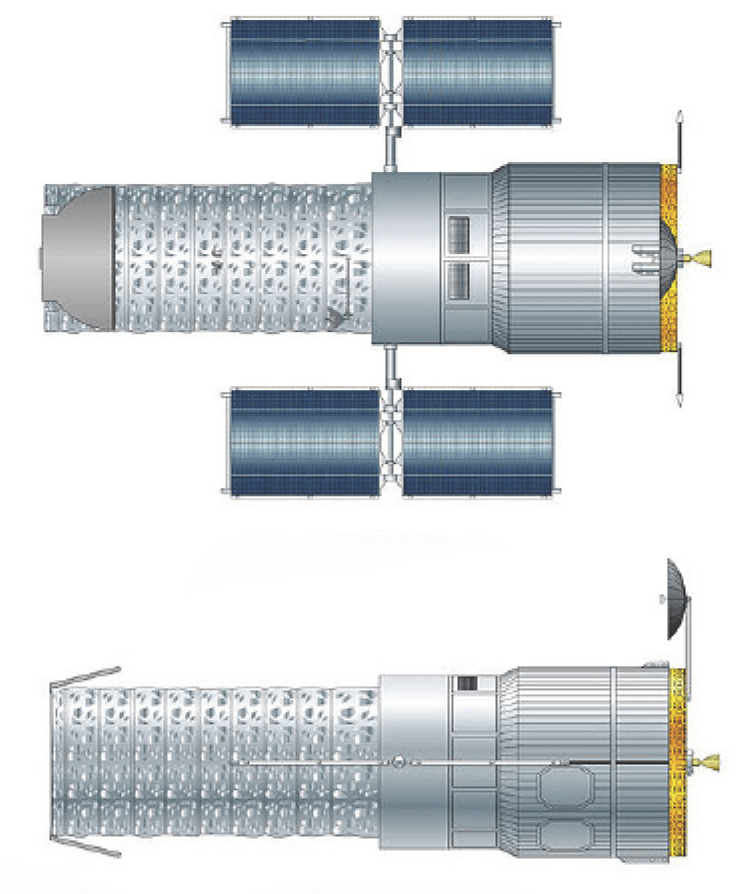
NO.49 侦察卫星寿命较短的原因是什么？

侦察卫星特别是照相侦察卫星，为了获得高分辨率侦察照片，除尽可能采用大型侦察照相机外，一个有效的办法是尽量采用较低的轨道。美国、苏联早期侦察卫星的轨道近地点只有150余千米。这样低的高度，极其稀薄的大气仍然会给卫星带来一定的阻力，结果使卫星运行速度越来越慢、轨道高度不断降低，于是很快降低到第一宇宙速度以下，结果就是卫星坠入大气层。这个时间一般只有3～4天。苏美早期研制的照相侦察卫星寿命只有几天，因此只好通过发射数量来弥补寿命的不足。

随着火箭运载能力的提高以及卫星技术的进步，后来出现的照相侦察卫星（从第三代开始），在侦察设备愈加先进的同时，也拥有了变轨和机动能力，即在照相侦察卫星上安装变轨和姿态控制发动机，当卫星进入准备侦察的地区时，利用这些发动机降低卫星轨道实施侦察，侦察完毕后再抬高轨道。由于卫星运行轨道提高了，大气阻力大大降低，卫星寿命也就提高了。不过，由于卫星自身携带的推进剂量有限，频繁地降低、抬高轨道会迅速消耗推进剂，因此这类侦察卫星的寿命也不会太长。

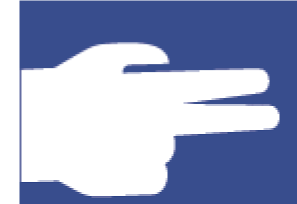
目前，美国研制的“高级锁眼”KH-11卫星由于携带较多的推进剂，它的运行寿命可达5年左右。KH-11卫星的尾部装有两个大型太阳电池板，每个长约13.7米、宽约4.11米、卫星翼展35米、总重约18吨，光推进剂就达14吨。由于推进剂更多，它可机动到较高轨道上进行普通侦察，也可机动到最低时的160千米进行详细侦察，如果利用航天飞机对其进行推进剂补充，预计它的寿命可提高到15年。电子侦察卫星由于运行在静止轨道上，它的寿命一般要长得多，可达十几年。





美国KH-11侦察卫星结构图


美国 KH-11 侦察卫星在轨运行示意图

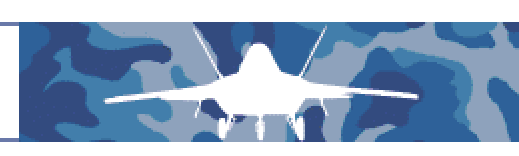
 NO.50 美国先进极高频军事卫星有何先进之处？

先进极高频（advanced extremely high frequency，AEHF）卫星是美国新一代军事通信卫星，将取代已在轨运行 10 余年的“军事星”（Milstar）卫星系统。它将为美军提供高容量、高生存能力、抗干扰、全球范围的安全通信系统。

AEHF 卫星的诞生背景

AEHF 卫星项目是美军近十年来规模最大的太空项目之一。这个由美国与加拿大、英国和荷兰之间合作的国际项目，原计划单星成本在 6 亿美元，后续成本却一升再升，已经突破 10 亿美元，再加上地面终端，整个项目建成则要耗费上百亿美元。

美国之所以付出如此巨大的代价去建设卫星通信网络，与美军在 21 世纪初提出的“网络中心战”作战理论密不可分。基于“网络中心战”的作战理论，作战部队将能够承担多样化任务，具备灵活反应能力，能够基于战场环境的变化迅速做出调整。而这种灵活反应能力则严重依赖于对战场环境、气象条件、敌我友三方态势的精确把握。虽然在地面战场已经有光纤、微波通信系统能够提供高速通信，但是对于美军的全球作战任务来说，军用卫星通信系统仍然居于不可替代的地位。据统计，美军战场通信中的 70% 是由军



用卫星系统承担的。

然而，卫星传输带宽瓶颈与处理能力不足一直是美军提高作战效率的最大制约。在海湾战争时，特别详细的作战命令甚至要用飞机送到航空母舰上去。这种作战方式显然不适应信息化条件下快速反应的需要，令美军大为不满。之后，美军致力于提高军用卫星通信能力，先后发展了两代“军事星”，第二代“军事星”极高频通信速率已经足以传输作战指令，但仍然难以实现战场态势和视频的实时传输。为此，美军必须发展更先进的军事通信卫星。



制造中的 AEHF 卫星

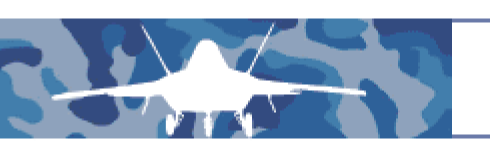
AEHF 卫星的先进之处

作为美国国防部在军用卫星通信体系结构中期阶段使用的骨干，AEHF 卫星通信系统除了具备更为强大的通信能力，还采用了大量的先进技术，使其在生存能力、保密性、抗干扰等方面同样非常出色。

（1）AEHF 卫星采用非常先进的组合推进技术。卫星上携带 3 个推力大小不同、传统与电推进相结合的推进系统。随着越来越多的国家掌握航天技术，36000 千米的高度也变得不再安全。因为静止轨道通信卫星的位置固定、体积较大，难以隐蔽，用低价值的飞行器直接撞击高价值的通信卫星在技术上并不难实现。为了降低损失，美军不得不考虑提高通信卫星的生存本领。AEHF 卫星携带的大



美国空军使用 C-5 运输机
运送 AEHF 卫星到发射场



推力发动机，可帮助它避开恶意撞击。AEHF 卫星还采用了氙离子流体霍尔推进器，虽然推力很小，但是却有着10倍于传统化学推进系统的比冲值。因此，卫星只需携带少量燃料，就可以保持较长时间工作寿命。而推进剂燃料的减少则意味着卫星可以携带更多的有效载荷。

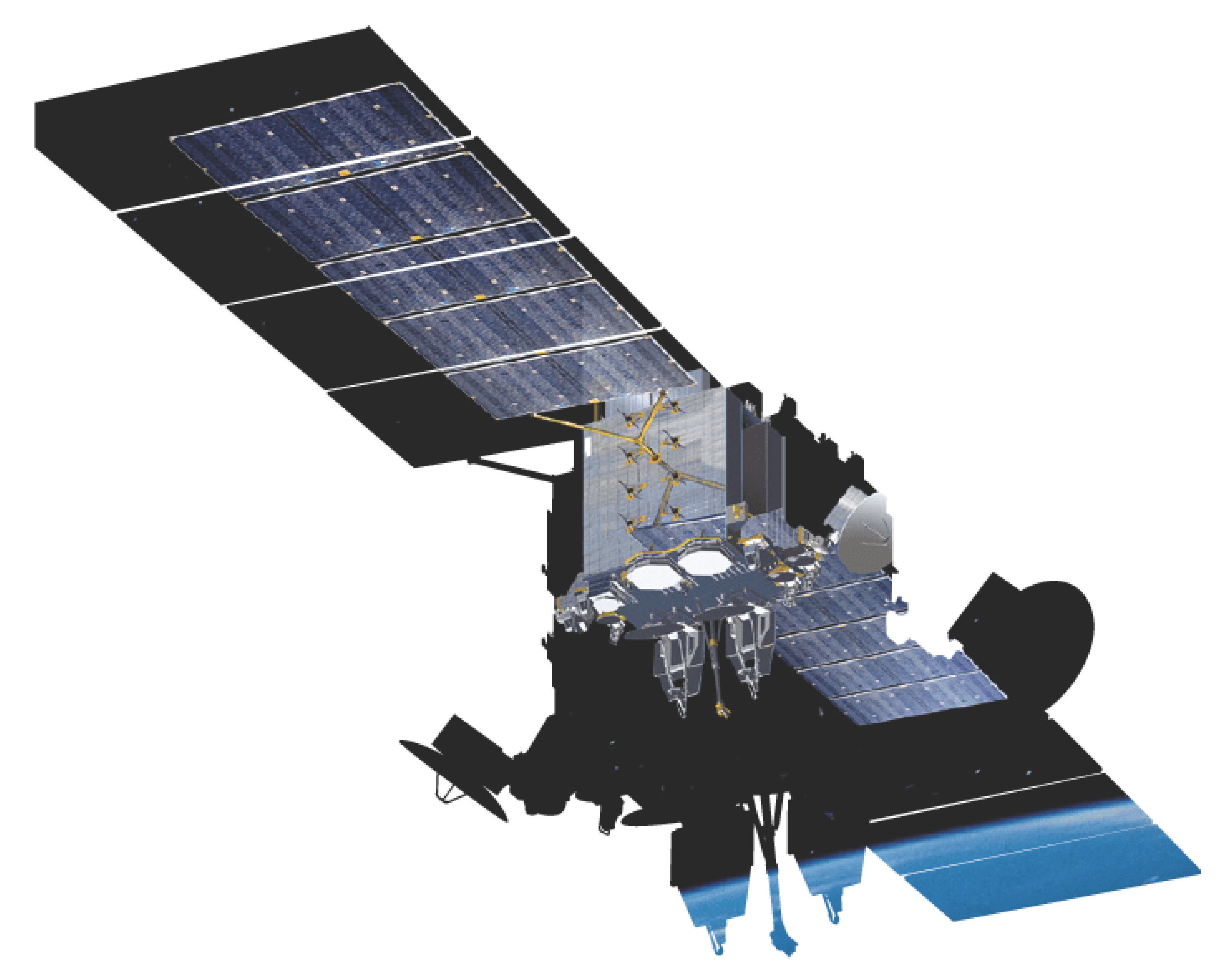
（2）AEHF 卫星采用的抗干扰、抗截获波束控制技术。此前的卫星是采用机械方式来改变电磁波束反射面的，所以只能使得波束在某一个时刻属于某一个用户，波形切换速度慢、控制精度低。而 AEHF 卫星则是通过电子方式来改变射频波束的指向，因而其相控阵天线能很便捷地使用户之间的波束瞬间跳变、自由切换。由诺斯洛普 • 格鲁曼公司研制的“波束成形网络”可使 AEHF 卫星天线自动调零，以便对付潜在的干扰，只有在波束覆盖范围之内的合法用户能够正常使用卫星。这种抗干扰功能不需要由地面控制和干涉，完全由星上处理，极大地提高了整个系统的反应速度和抗截获能力。

（3）AEHF 卫星具有强大的星间传输和星上处理能力。为了提高星间通信能力，AEHF 卫星携带了 14 副不同形状和用途的通信天线，并用电子管功率放大器取代了行波管功率放大器，使星间通信的波形保真度大幅提高。此前的“军事星”卫星通信系统星间链路的通信速率为 10 MB/ 秒，AEHF 卫星系统则可以达到 60 MB/ 秒。这就使得全球范围的远程跨区通信不需要绕行地面中继站点，而全部采用星间通信的方式，既降低了传输时延，又提高了系统的通信吞吐量。同时，这样的通信方式也降低了对地面控制系统的依赖程度，即使地面控制系统遭到破坏，整个卫星星座仍然能够自主运行 6 个月以上。



技术人员为 AEHF 卫星安装整流罩





AEHF 卫星在轨运行示意图



NO.51 全球定位系统由哪些部分组成？

全球定位系统（global positioning system，GPS），又称全球卫星定位系统，是美国国防部研制和维护的中距离圆形轨道卫星导航系统。它可以为地球表面绝大部分地区（98%）提供准确的定位、测速和高精度的标准时间。全球定位系统可满足位于全球地面任一处或近地空间的军事用户连续且精确地确定三维位置、三维运动和时间的需求。

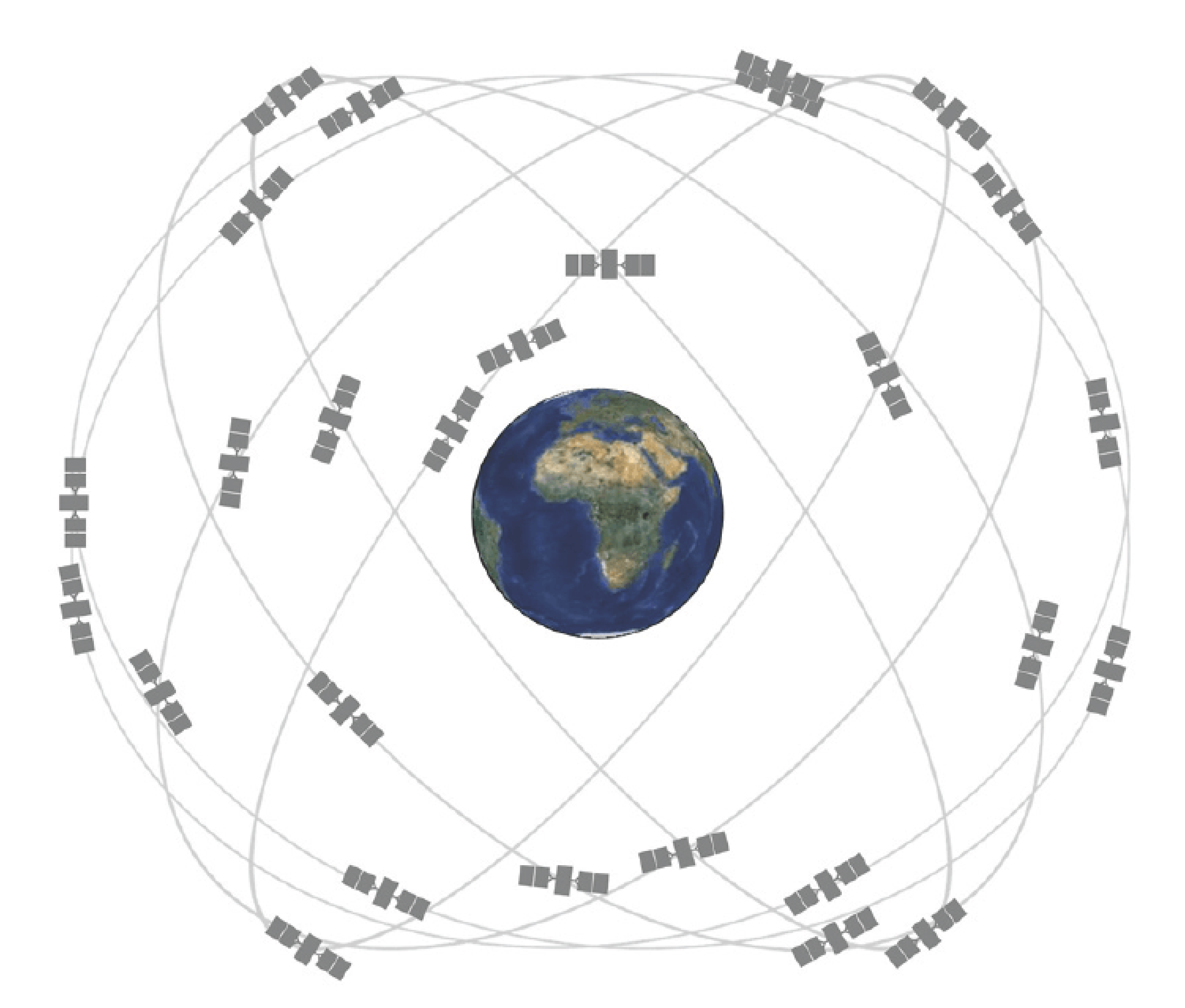
全球定位系统由美国政府于 20 世纪 70 年代开始进行研制，并于 1994 年全面建成。该系统由三部分构成：地面控制部分、空间卫星星座和地面用户设备。

1）地面控制部分

地面控制部分由主控站、监测站、地面天线和通信辅助系统（数据传输）组成。

主控站负责收集各个监测站的跟踪数据并计算卫星轨道和时钟参数，将计算结果通过地面天线发送给卫星。同时，主控站还负责管理、协调整个地面控制系统的工作。

每个全球系统都设有数量不等的监测站，各监测站配备有精密的原子时间标准和可连续测定到所有可见卫星伪距的接收机，采用电离层和气象参数



GPS 卫星星座示意图

对测得的伪距进行改正后，生成具有一定时间间隔的数据并发送到主控站。

在监测站的同址上安置有专用的地面天线。地面天线配置了将命令和数据发送到卫星并接收卫星的遥测数据和测距数据的设备。地面天线的所有操作都是在主控站的控制下进行。

2）空间卫星星座

全球定位系统的空间卫星一般运行在距离地面 20000 千米左右的太空，由 30 颗左右的卫星组成星座，依据其结构设计分布在 3 个或 6 个轨道平面上，相邻轨道间的夹角相同。为保证系统的连续运行，一般在每个轨道上还部署一颗备份卫星，一旦有卫星发生故障，则可以立即替代。

3）地面用户设备

用户设备部分即导航信号接收机。其主要功能是能够捕获到卫星，并跟踪这些卫星的运行。当接收机捕获到跟踪的卫星信号后，即可测量出接收天线至卫星的伪距离和距离的变化率，解调出卫星轨道参数等数据。根据这些数据，接收机中的微处理计算机就可按定位解算方法进行定位计算，计算出用户所在地理位置的经纬度、高度、速度、时间等信息。

卫星信号接收机有各种类型，有用于航天、航空、航海的机载导航型接收机，有用于测定定位的测量型接收机，也有普通大众使用的车载、手持型接收机。接收设备也可嵌入其他设备中构成组合型导航定位设备，如导航手机、导航相机等。





GPS 卫星在轨运行示意图



GPS 地面监测站

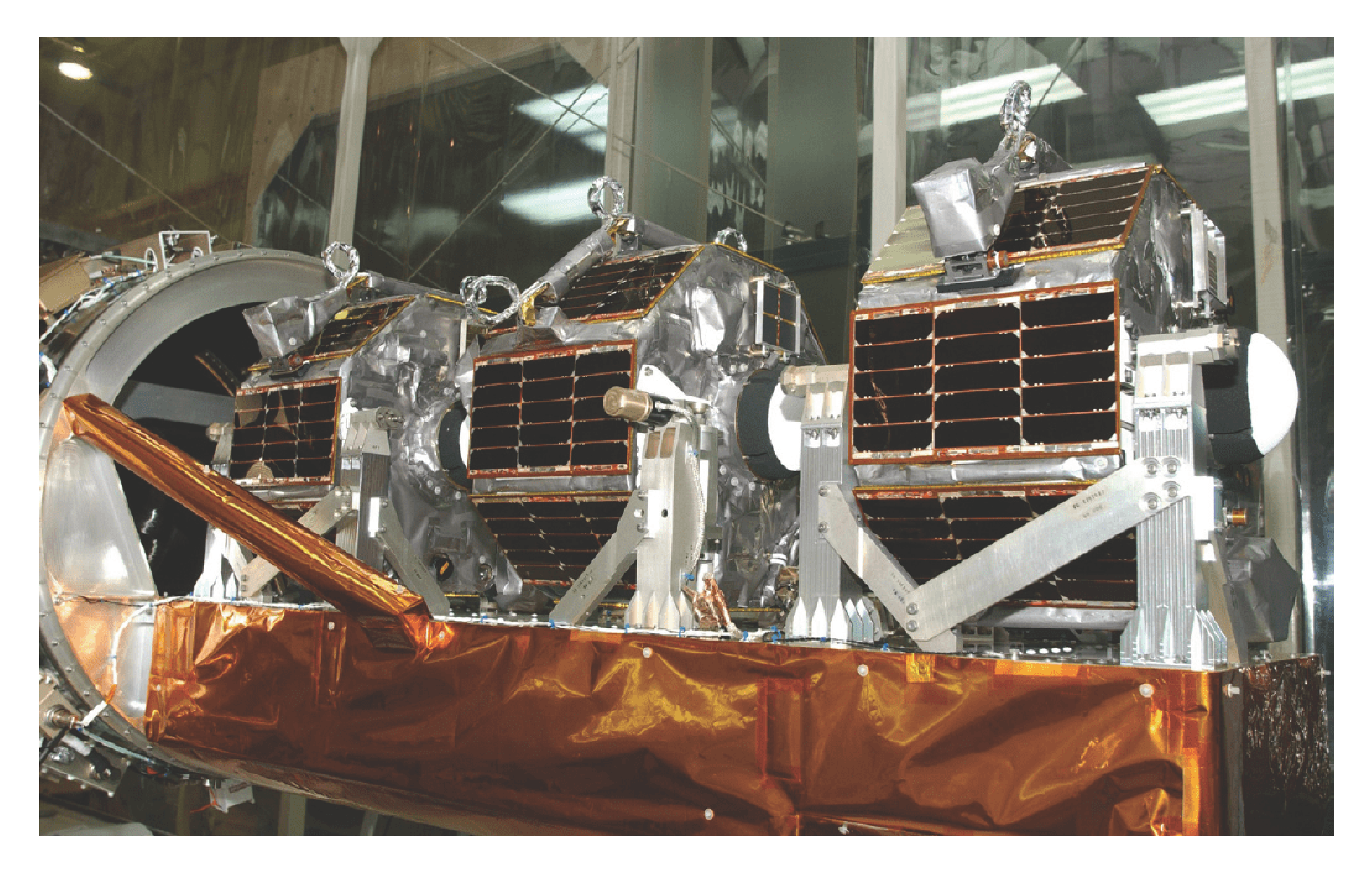


NO.52　微小型卫星的主要作用是什么？

微小型卫星是重量在1000千克以下的人造卫星，进一步可细分为：“小卫星”（Smallsat），重100～1000千克；“微卫星”（Microsat），重10～100千克；“纳卫星”（Nanosat），重1～10千克；“皮卫星”（Picosat），重0.1～1千克；“飞卫星”（Femtosat），重0.1千克以下。英语中的Micro（微）、Nano（纳）、Pico（皮）和Femto（飞）等，是国际单位制中用以表示十进制倍数的词头，其数值分别为10-6、10-9、10-12和10-15，这里只是借用来对微小型卫星按重量进行分类，并不具有其数值的实际含义。

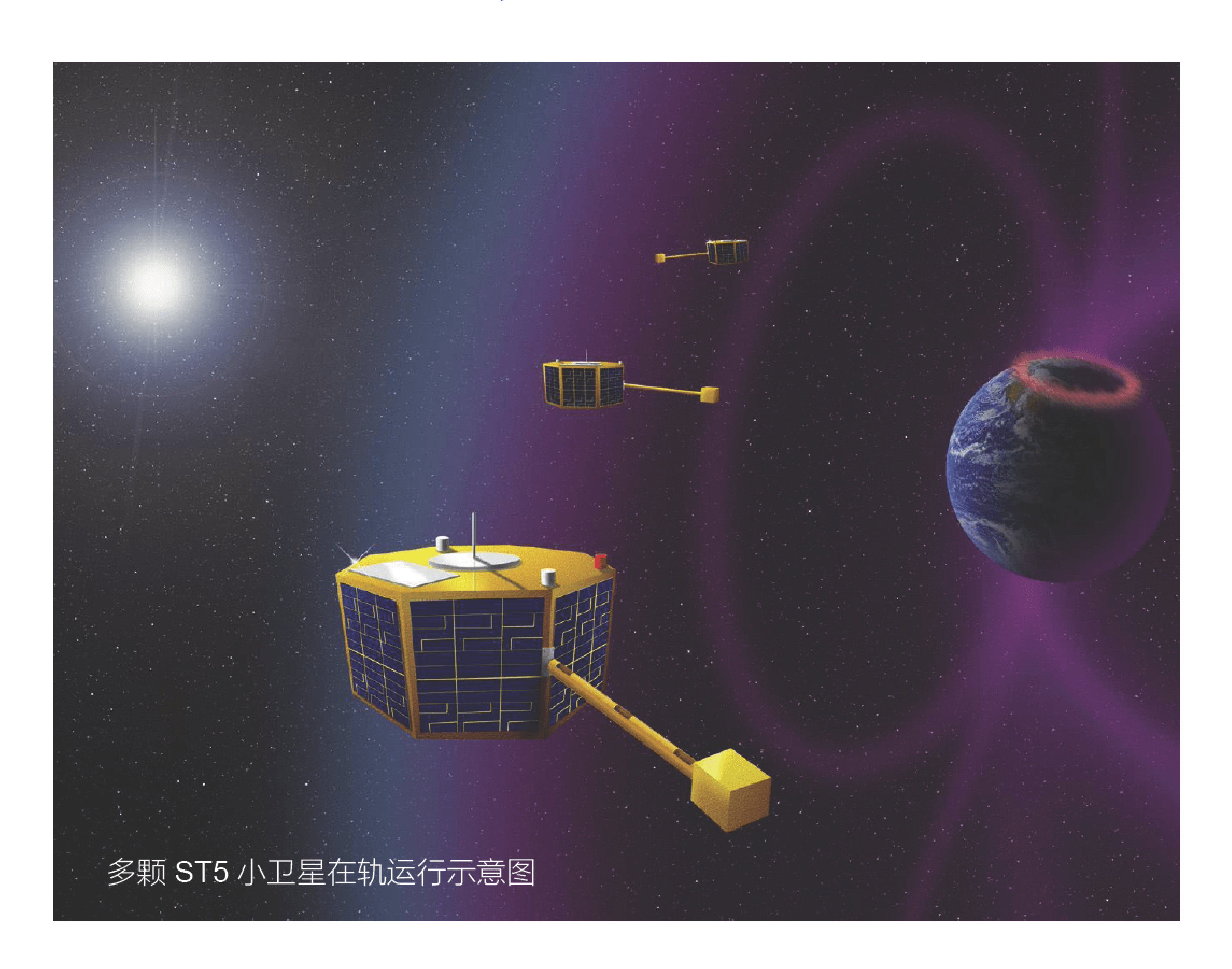
微小型卫星主要用于通信、对地遥感、行星际探测、科学研究和技术试验，它的发展依然受需求牵引和技术推动的制约。更广泛的应用需要在关键技术上有革命性的突破与创新。这些新技术主要包括电推进技术、多功能结构、微机电系统、一体化设计、先进的存储器与计算机软件技术以及轨道控制技术等。随着这些技术不断被攻克，微小型卫星必将成为一大类航天器，并作为大型航天器的补充，在军事、国民经济各部门得到广泛应用。

微型计算机的开发成功和广泛应用，导致了信息科技的革命。微小型卫星的成功和使用，也在航天领域引发了一场技术革命。它使卫星的用户从单



美国国家航空航天局研制的ST5小卫星





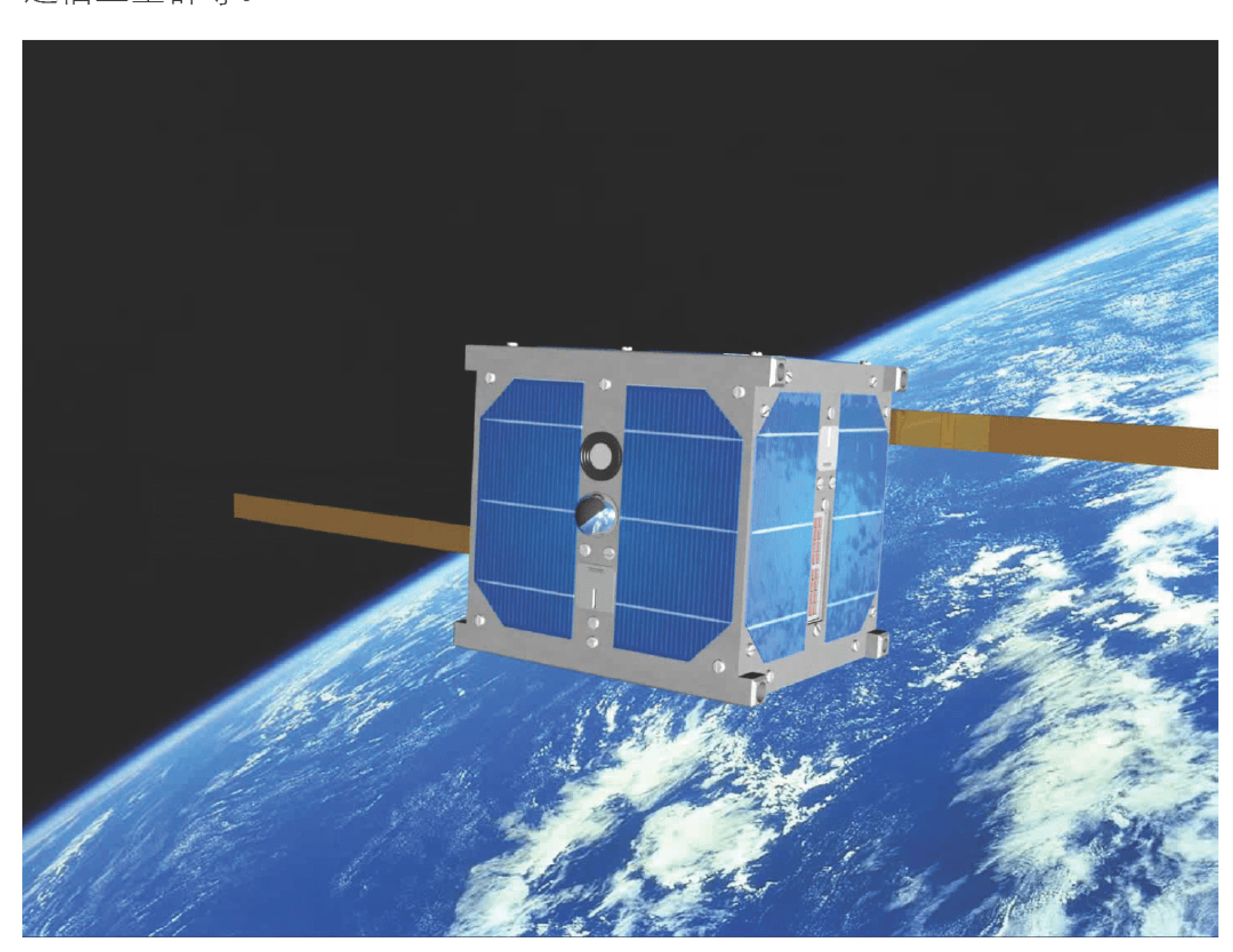
多颗 ST5 小卫星在轨运行示意图

一的国家，变成了国家、部门、单位乃至个人的多元化格局。它的研制单位，也将从少数国家航天部门发展到许多大学。微小型卫星技术为天网、地网合一的立体化信息高速公路提供了技术支持，为 21 世纪的通信、航天、环境与资源等领域展示了可持续发展的新格局。在军事领域，诸如侦察、通信、指挥、决策、后勤及武器装备等方面，微小型卫星将起到重要作用。

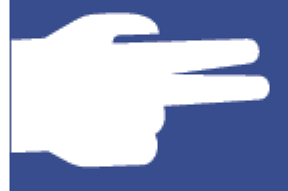
微小卫星体积小、重量轻、研制周期短、成本低、发射方式灵活，在军事上有较大的应用潜力，20 世纪 80 年代中期以来受到越来越多国家的重视。微小型卫星不需要大型火箭和大型发射场，可应用小火箭随时随地机动发射，因此很多国家已将其列入国家级研究计划，被视为 21 世纪技术与经济发展的一个制高点。

目前，美国已经发射了重量在几百千克以下的多种小卫星和重量不足 10 千克的试验型纳卫星和皮卫星；英国、瑞典也在 2000 年发射了纳卫星；法国、印度、阿根廷、智利、巴西、韩国、泰国、巴基斯坦等国已经有了自己的小卫星。此外，印度尼西亚、马来西亚、菲律宾等国正在与航天大国合作研制小卫星或微卫星。

未来，微小型卫星主要有两个发展方向。一是研制轻型单颗卫星，这类微小型卫星已经开始执行地球观测任务，提供达到军用分辨率的图像。美国空军未来的全球定位系统（GPS）卫星每颗将不超过 100 千克；二是将微小型卫星组成星座，进行编队飞行，以代替昂贵的单颗大型卫星，例如，天基雷达（SBR）群、长基线信号情报（SIGINT）星座以及连接小型地面终端的通信卫星群等。

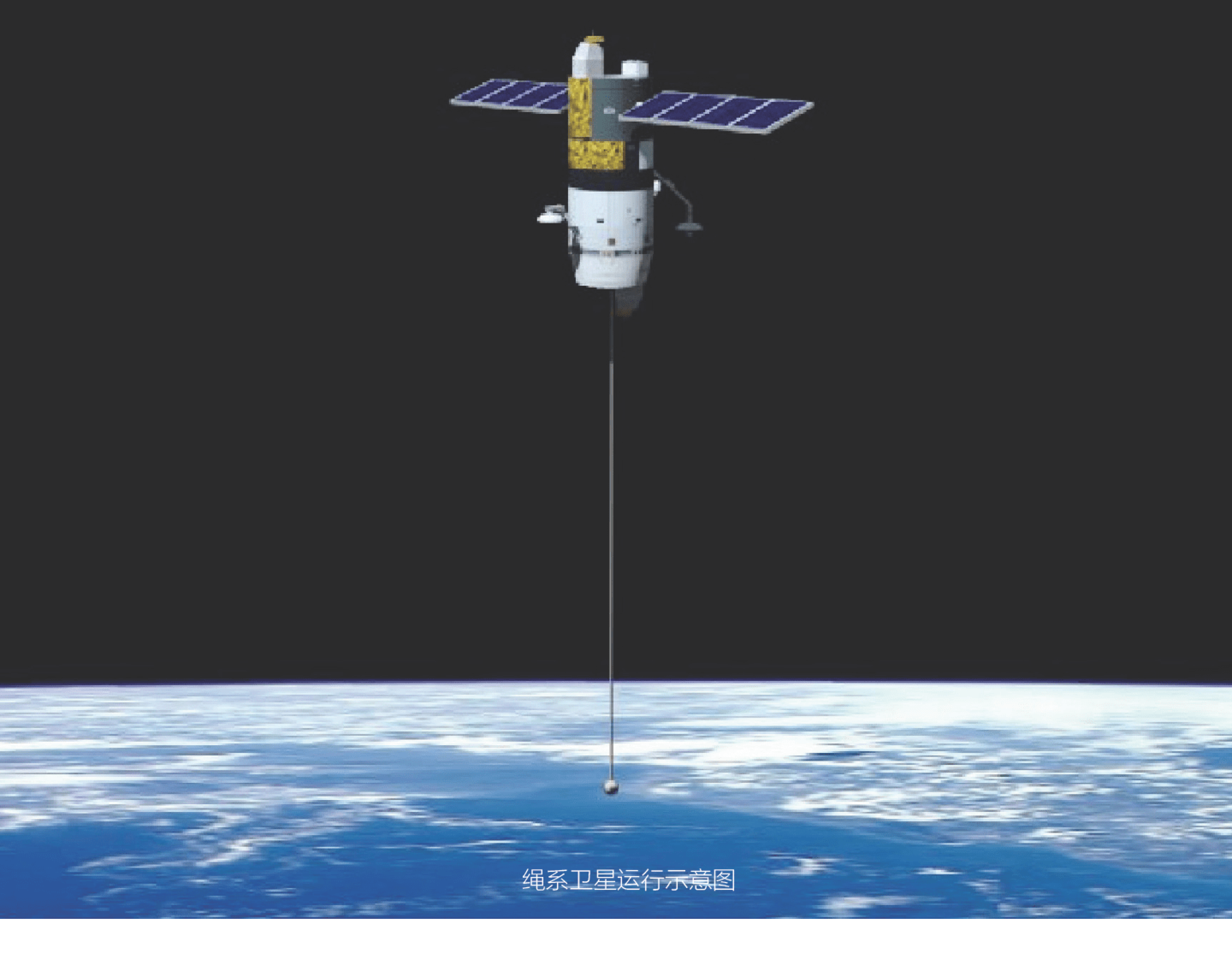


爱沙尼亚 ESTCube-1 小卫星在轨运行示意图

 NO.53　绳系卫星的作用原理是什么？

绳系卫星，顾名思义，是由绳索系着的卫星，它由一根绳索拴在另一个航天器上，可以在这个航天器的下方或上方一起绕地球运行。

绳系卫星有许多特别的用途，如对离地面 100 ～ 200 千米的地球行星空间进行探测。对飞机和气球来说，这个高度太高，而对卫星来说，这个高度

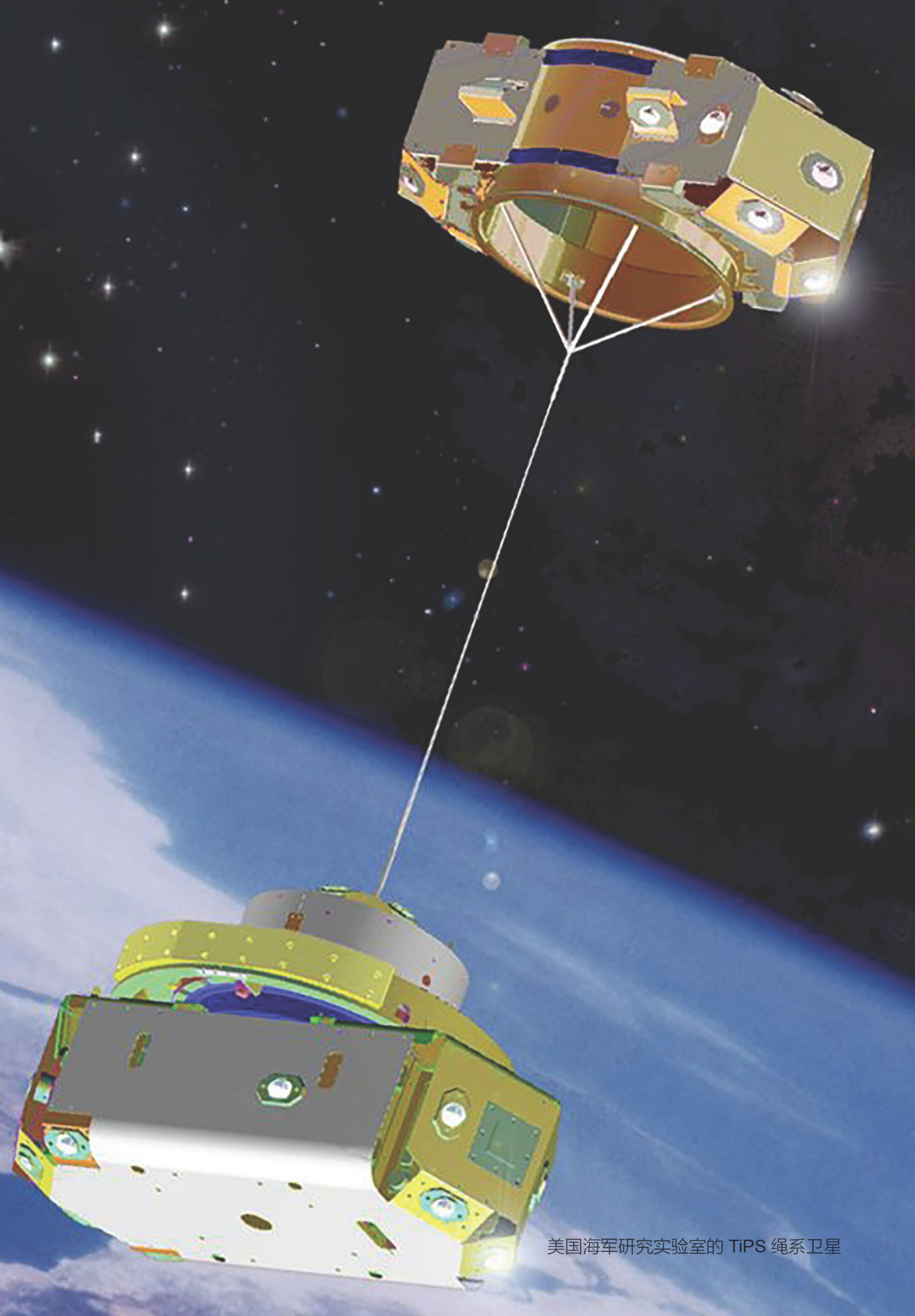

绳系卫星运行示意图

又太低，都无法到达，而探空火箭的探测空域和时间又非常有限。绳系卫星在绕地球飞行时，可充分收集这里的大气数据，了解太阳活动如何通过高、中层大气影响地面气候和天气变化等。若是一串绳系卫星，则可收集到不同高度上的有关数据。

在离地面 120 千米左右的上层大气中，是 2 微米以下宇宙尘埃的高密度区，而且没有地面上风化的细砂土、火山喷发的尘埃、飞机和航天器燃气的混杂和污染。用绳系卫星收集这些尘埃宇宙粒子，并分析它们的化学性质，是研究天体演变过程的重要手段。

绳系卫星的系绳若是由导电材料制成的，它也是一个探测器，可以对电离层和地球磁力线的磁场进行探测，研究太阳风和地球磁场、太阳风和彗星尾迹的等离子体流之间的相互作用。

由导电材料制成的绳系卫星的系绳，在绕地球运动时切割地球磁力线，它就成为一台发电机，可以向绳系卫星和牵引它的航天器供电。它就像一台不需要推进剂的推进系统，可将牵引它的航天器送升入更高的轨道，其效能是火箭发动机的 7 ～ 10 倍。



美国海军研究实验室的 TiPS 绳系卫星



绳系卫星的原理是动量矩守恒。一个物体或体系的动量，是它的质量与速度的乘积。在没有外力的作用下，一个体系的动量不变，这叫动量守恒。角动量、动量矩也都遵守这个规律。一个体系的动量、角动量或动量矩虽然不变，但可以转移。

在一个航天器的上下各拴一个绳系卫星，让它们转动起来后，就可始终相互绕转，产生人工重力。这是因为下降的绳系卫星可将动量转移给上升的绳系卫星，这叫系缆。用系缆的方法可将低轨道航天器上的物资送到高轨道，甚至月球上。

小贴士

1992 年和 1996 年，意大利研制的绳系卫星，两次由美国航天飞机携带，在太空进行试验。第一次由于绳索缠绕，只释放到 250 米（原计划 20 千米），但它产生了 40 伏特的电压及 1.5 毫安的电流，第二次释放到 19.3 千米，产生了 3000 伏特电压，可惜这时绳索断裂，绳系卫星丢失。



NO.54　资源卫星有哪些遥感手段?

资源卫星是专门用于勘探和研究地球资源的卫星，分为陆地资源卫星和海洋资源卫星，一般都采用太阳同步轨道。

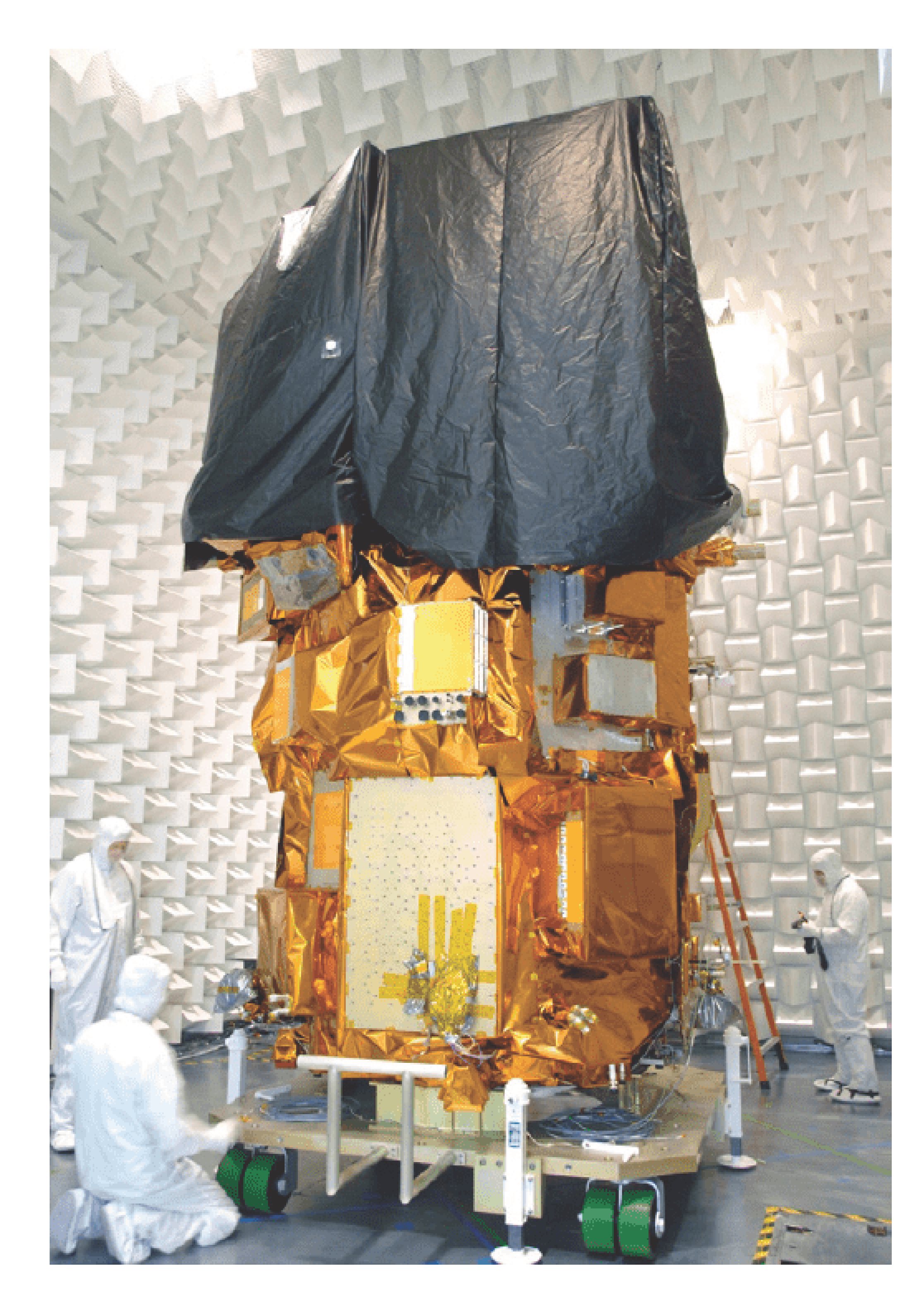
世界上第一颗陆地资源卫星是美国于 1972 年 7 月 23 日发射的“陆地卫星 1 号”。它采用近圆形太阳同步轨道，距离地球 920 千米高，每天绕地球 14 圈。卫星上的摄像设备不断地拍下地球表面的情况，每幅图像可覆盖地面近两万平方千米，是航空摄影的 140 倍。

世界上第一颗海洋资源卫星是美国于1978年6月发射的“海洋卫星 1 号”，它装有各种遥测设备，可在各种天气里观察海水特征、测绘航线、寻找鱼群、测量海浪、海风等。

资源卫星利用星上装载的多光谱遥感设备，获取地面物体辐射或反射的多种波段电磁波信息，然后把这些信息发送给地面站。由于每种物体在不同光谱频段下的反射不一样，地面站接收到卫星信号后，便根据所掌握的各类物质的波谱特性，对这些信息进行处理、判读，从而得到各类资源的特征、分布和状态等详细资料。

资源卫星能“看穿”表面地层，发现地下矿产、历史古迹、地层构造，能普查农作物、森林、海洋等资源，能预报农业收成和疫病发生，预报自然灾害，是一个多面手。资源卫星对地观察的主要遥感手段有以下几种。

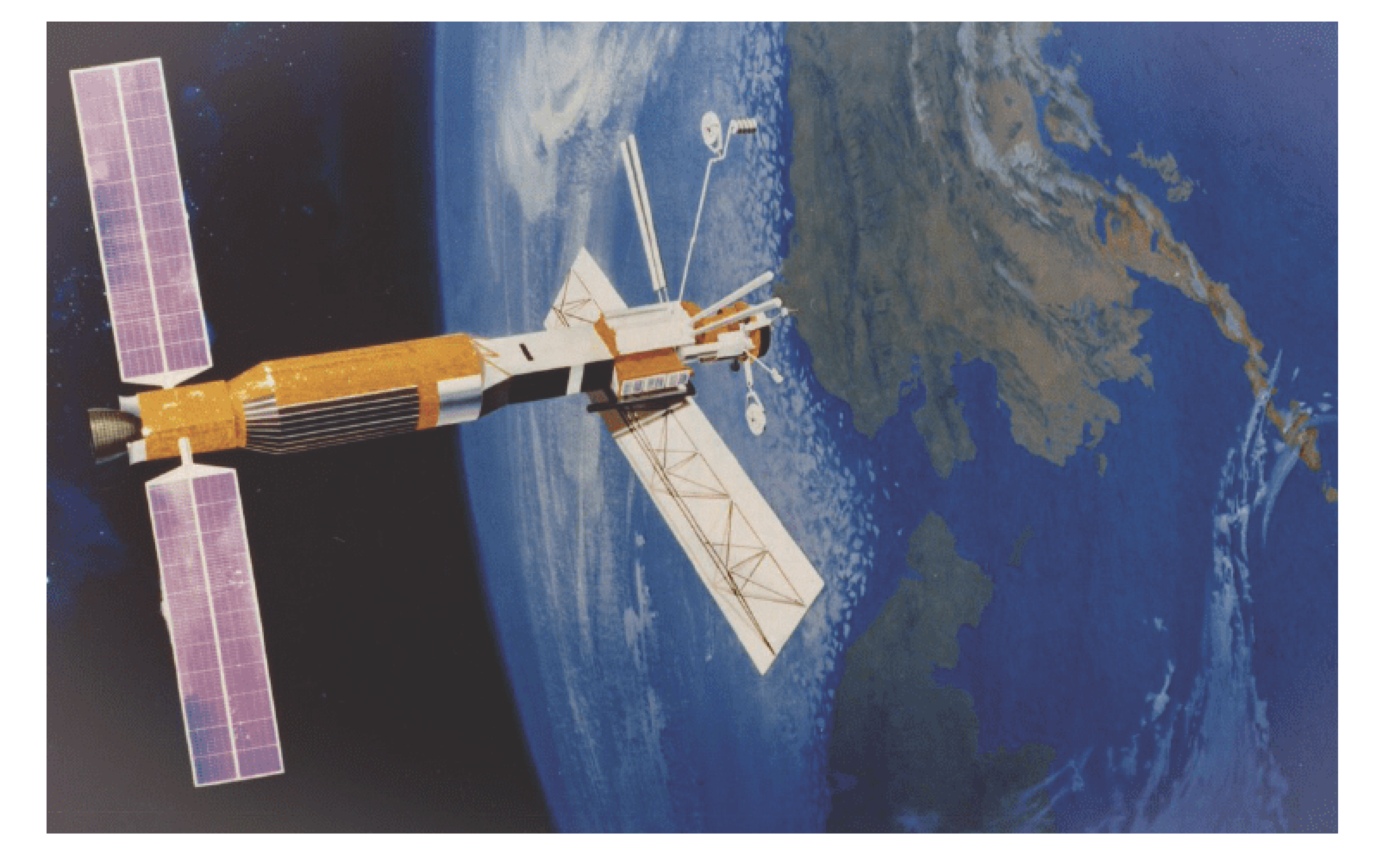
（1）可见光照相。即利用太空相机对地面拍照。由于普通相机不容易分辨地貌，不能识别地面的伪装，于是发展了一种多光谱照相技术，即根据不同物体对不同波长的光线具有不同反射能力的原理，用几部相机分别采用普通黑白胶片、彩色胶片、黑白-红外胶片和彩色-红外胶片同时拍摄一个目标，然后对这些照片综合分析，去伪存真。



美国“陆地卫星 8 号”正在进行地面测试

（2）红外遥感。它的依据是每个物体都能辐射红外光，而这些红外辐射的特性与其温度密切相关，因而探测物体辐射的红外光线即可推算出它们的温度，从而识别伪装并可进行夜间观察。因此，红外遥感技术在军事侦察、气象观察和资源勘探等方面都十分有用。

（3）微波遥感。其中比较成熟的是侧视雷达，即向卫星侧面发射雷达波，然后接收地面物体的反射，把收到的信号经过处理在胶片上成像，获得地面物体、地貌的特征。这种方法可以观察云层覆盖下的景物，获取的图像具有鲜明的立体感，因此应用广泛。

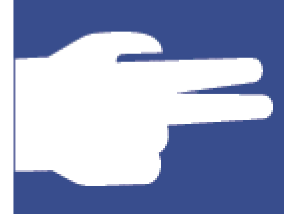


美国“海洋卫星 1 号”在轨运行示意图



美国“陆地卫星 8 号”由“阿特拉斯 5 号”运载火箭携带升空

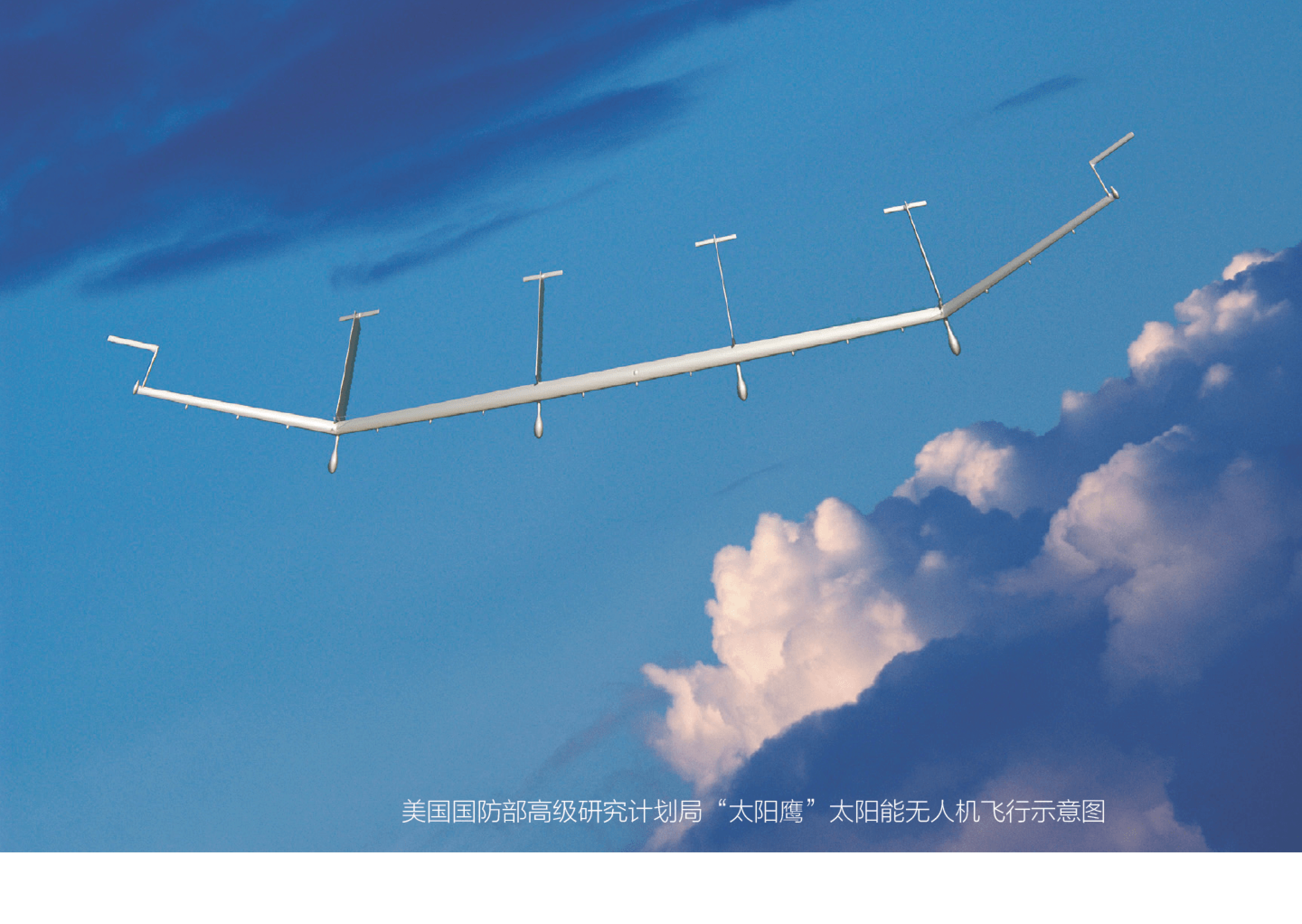
美国国家航空航天局研制的“赫利俄斯”太阳能无人机



NO.55　太阳能无人机能不能替代部分卫星?

太阳能无人机是指采用太阳能作为能源，使用电力驱动，可进行长航时飞行的航空器。美国是世界上最早研制高空太阳能无人机的国家。1974 年 11 月 4 日，美国研制的世界上第一架用太阳能驱动的“黎明”（Sunrise）无人机在加州试飞成功。随后，英国、德国等国家也开始陆续开展或加大了关于高空太阳能无人机的研制工作。目前，美国国家航空航天局、美国国防部高级研究计划局及一些私营公司都已研制出高空、临近空间太阳能无人机，其技术水平走在世界前列。

进入 21 世纪后，随着能源系统的升级换代，以及总体优化、轻质高强结构等学科水平的提升，太阳能无人机获得了快速发展，并逐渐发展出柔性机翼无人机和硬式机翼无人机两种技术路线。柔性机翼技术继续沿用了超大翼展技术思路，通过增大无人机尺度以获得更强的能源采集能力，采用薄膜结构以减轻结构重量，进而实现载荷能力的提升。硬式机翼技术则更强调无人机使用的维护性能，通过采用高效能源管理、轻质高强碳纤维结构、高升


美国国防部高级研究计划局“太阳鹰”太阳能无人机飞行示意图

阻比气动设计等手段，将无人机翼展控制在中小尺度，并凭借高强碳纤维结构有效适应对流层环境。

由于太阳能无人机具有超长续航时间、飞行高度高、机动灵活等优势，因此成为各国大力发展的对象。同时，太阳能无人机以太阳光作为能源，在白天将多余能量储存在蓄电池中，夜晚通过蓄电池持续飞行。与以化学燃料为能源的飞机相比，太阳能飞机不污染大气，属于真正的绿色环保飞行器。超长续航时间以及较高飞行高度使太阳能无人机像一颗在临近空间运行的“准卫星”一样，可执行各类遥感、通信类任务。

与卫星相比，太阳能无人机的“发射回收”成本更低，不需要价值数亿的运载火箭，当需要升级维护时，返回降落至地面即可。此外，和卫星相比，在平流层飞行的太阳能无人机与地面的距离分别是地球同步轨道卫星、地球中轨道卫星和地球低轨道卫星的 1/1800、1/400、1/40，其自由空间衰减与传输延时显著降低，有利于发射和接收终端的小型化、宽带化。另外，无人机平台自身造价在百万或千万量级，与卫星的数亿量级相比，成本上也大幅降低，且可单机独立运行，因而建设周期短，初期投资少。

除了通信类应用外，太阳能无人机还可搭载高分辨率相机，对地实现

0.1 ～ 0.2 米分辨率的观测成像，这些图像信息可应用于土地确权、不动产登记、城市测绘、国土资源调查、灾害评估等诸多领域，具有巨大的潜在社会经济效益。

太阳能无人机的应用前景非常广阔，但它离大规模应用还有较长的路要走。一是太阳能无人机自身的使用、维护、性能等方面需要进一步提升，使其具备更强的环境适应性。二是无人机载荷能力和任务设备需求要匹配，这有赖于无人机平台自身能力的提升和任务设备的进一步轻量化低功耗设计。三是通过冗余设计、可靠性试验等手段进一步增强无人机的可靠性，保障超长任务航时。

小贴士

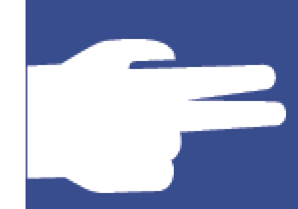
美国谷歌、Facebook 等互联网公司为开拓市场，推动实现偏远地区互联网接入，均通过收购专业无人机公司的方式来发展太阳能无人机，希望它能成为独立于卫星、地面基站外的第三种通信基础设施。利用太阳能无人机作为平台，将信号中转传输至覆盖区域，实现互联网信号接入，还可通过多机接力“组网”，实现覆盖范围的进一步拓展。



美国国防部高级研究计划局“秃鹰”太阳能无人机飞行示意图




英国凯奈蒂克公司研制的“西风”太阳能无人机



NO.56 美国天基红外系统如何进行导弹预警？

天基红外系统（space-based infrared system，SBIRS）是美国冷战时期国防支援计划（DSP）红外预警卫星系统的后继，是20世纪80年代计划用于取代DSP系统的先进预警系统、助推段情报与跟踪系统和稍后的早期预警系统等方案的自然延伸。作为美国空军研制的新一代天基红外探测与跟踪系统，它是美国弹道导弹防御系统探测预警的核心环节。

随着隐身技术的不断发展，导弹和各类作战飞机平台的雷达反射截面积越来越小，增大了无线电探测的困难。然而，此类目标运动时与空气的摩擦和其发动机的尾焰均会产生强烈的红外辐射，有利于红外系统对目标的探测。无论是战术还是战略层次，红外预警系统都体现了无可替代的技术优势。

弹道导弹发射时，火箭发动机会喷出数千度的火焰喷流，在飞行轨迹上留下长数千米、直径数百米、温度几十到数百度的高温尾气。由于弹道导弹会一直向上飞出大气层，所以这条高温尾迹会一直延伸到大气层顶端，使用

DSP 卫星在轨运行示意图

红外探测器更易于发现目标。红外导弹预警卫星就是利用卫星上的红外探测器探测导弹在飞出大气层后发动机尾焰的红外辐射，并配合使用电视摄像机跟踪导弹，及时准确判明导弹并发出警报。

资料显示，最初人们选择用雷达对来袭弹道导弹发布预警信息。由于地球是圆的，因此雷达只能发现高空目标。再者，雷达不能连续开机，而 SBIRS 以被动方式工作，则不用考虑这方面的因素，也因此被称为不疲惫的“哨兵”。位于太空的预警卫星不受地球曲率的限制，居高临下，覆盖范围更广，能尽早发现弹道导弹或其他飞行器。从导弹发射到发动机关机，红外预警卫星都可以进行持续跟踪。

早期DSP卫星使用短红外和可见光探测，无法克服云层反光的虚警问题，后来虽然演进到双色红外波段，但其视场和分辨率都并不理想，同时对中短程战术弹道导弹力不从心。而SBIRS卫星的红外平面阵列视场视野更宽广，有利于发现中短程战区弹道导弹目标，大面积凝视阵进一步提高了对战术目标的探测跟踪能力。扫描平面阵红外探测器和凝视平面阵红外探测器的结合使用，使SBIRS静止轨道卫星的探测跟踪能力比DSP卫星有了巨大的提高。

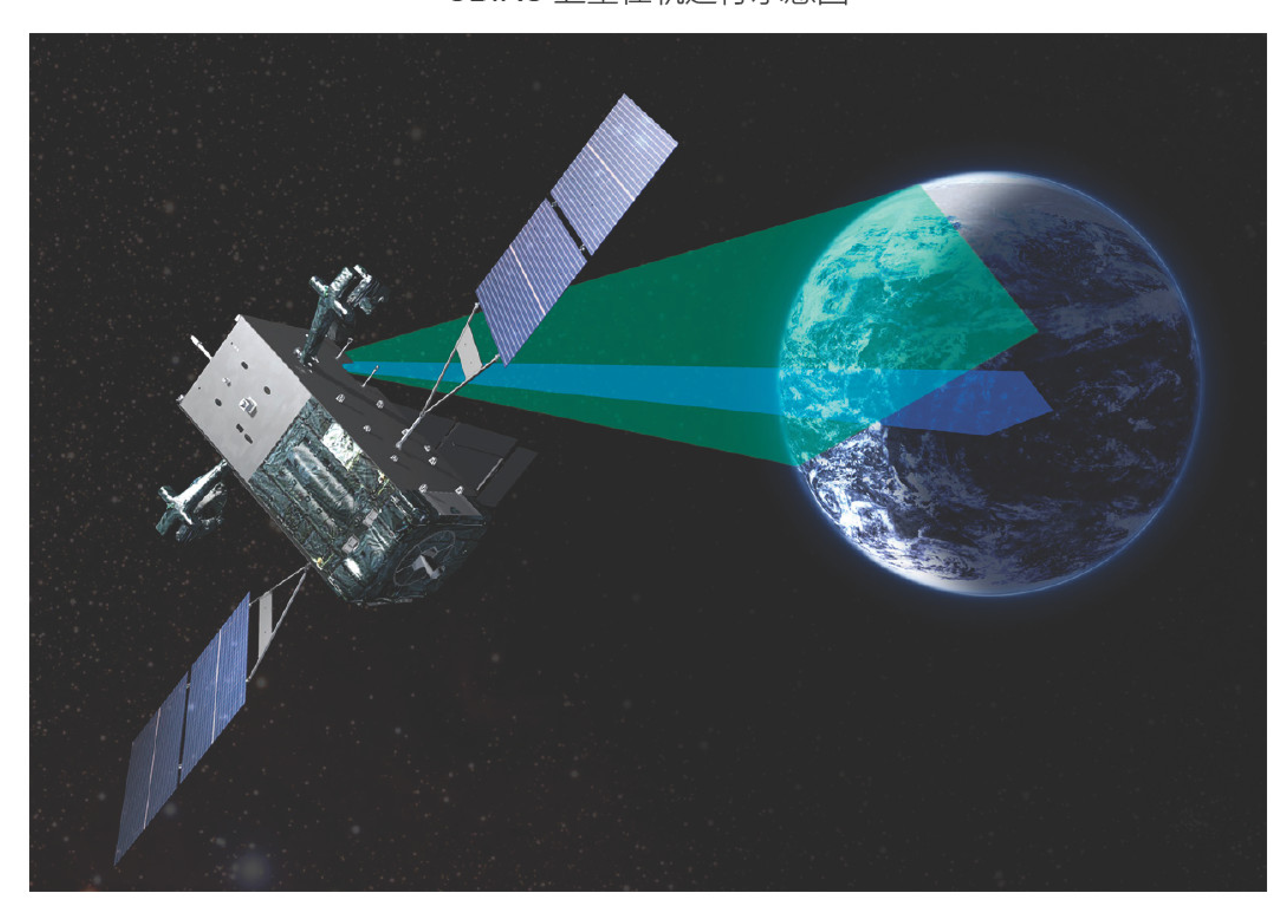
SBIRS卫星采用双探测器体制，每颗星上装有扫描型和凝视型两台探测器。高轨卫星主要用于探测助推段导弹，扫描速度和灵敏度比DSP卫星高10倍以上。它的扫描型探测器在导弹点火时就能探测到喷出的尾焰，然后在导弹发射后10～20秒内将警报信息传送给凝视型探测器，由凝视型探测器将目标画面拉近放大，获取详细信息。这种工作方式能有效增强探测战术弹道导弹的能力。低轨卫星主要用于跟踪在中段飞行的弹道导弹和弹头，引导拦截弹拦截目标，与现有系统相比可将防区范围扩大2～4倍。通过扫描和凝视两种方式的观测，对陆地、海上和空间导弹的发射、类型、诱饵的散布都有一定的观测和识别能力。



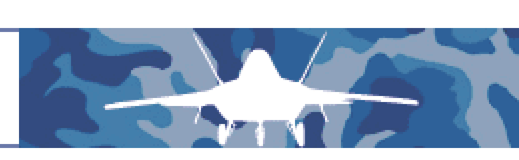
制造中的SBIRS卫星

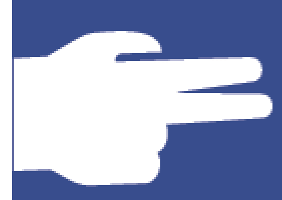


SBIRS 卫星在轨运行示意图



SBIRS 卫星探测示意图





NO.57　航天飞机的主要结构和功能是什么？

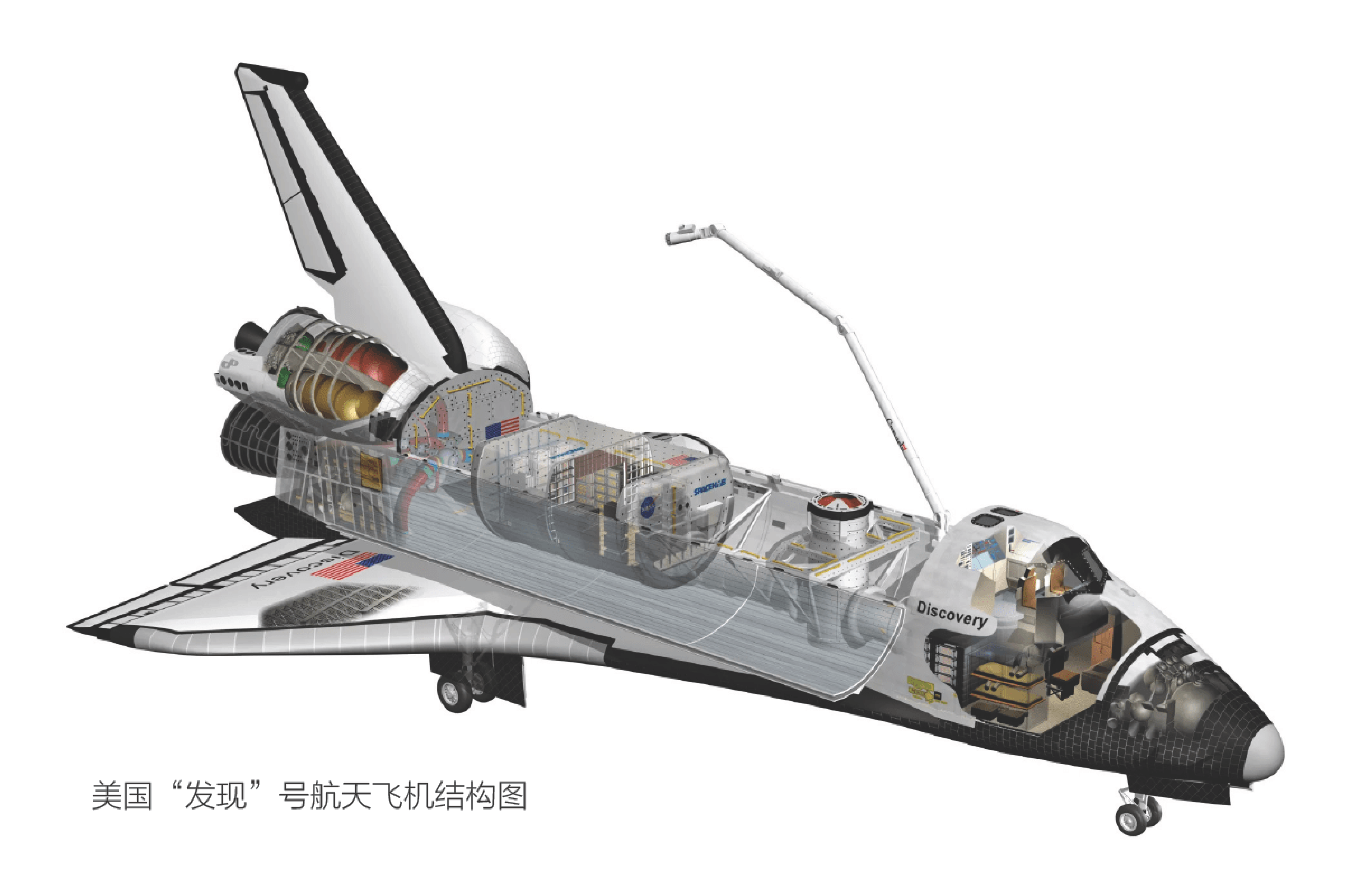
航天飞机（Space Shuttle）是一种可重复使用的、往返于太空和地面之间的航天器。它既能像运载火箭那样把人造卫星等航天器送入太空，也能像载人飞船那样在轨道上运行，还能像滑翔机那样在大气层中滑翔着陆。航天飞机为人类自由进出太空提供了很好的工具，是航天史上的一个重要里程碑。迄今只有美国与苏联曾经制造出能进入近地轨道的航天飞机，并曾实际成功发射并回收，而美国是唯一曾以航天飞机成功进行载人任务的国家。

航天飞机的结构

航天飞机实际上是一个由轨道器、外贮箱和火箭助推器组成的往返航天器系统，但人们通常把其中的轨道器称作为航天飞机。

1）轨道器

轨道器是整个系统的核心部分。它是整个系统中唯一可以载人的、真正在地球轨道上飞行的部件，它很像一架大型的三角翼飞机。它所经历的飞行过程及其环境比航空器要恶劣得多，它既要有适于在大气层中作高超音速、超音速、亚音速和水平着陆的气动外形，又要有承受再入大气层时高温气动



美国“发现”号航天飞机结构图


美国“亚特兰蒂斯”号航天飞机放出起落架准备降落

加热的防热系统。因此，它是整个航天飞机系统中设计最困难、结构最复杂、遇到的问题最多的部分。

轨道器由前、中、尾三段机身组成。前段结构可分为头锥和乘员舱两部分，头锥处于最前端，具有良好的气动外形和防热系统，前段的核心部分是处于正常气压下的乘员舱。整个乘员舱又可分为 3 层：最上层是驾驶台，有 4 个座位，中层是生活舱，下层是仪器设备舱。乘员舱为航天员提供宽敞的空间，航天员在舱内可穿普通地面服装工作和生活。一般情况下舱内可容纳 4 ～ 7 人，紧急情况下也可容纳 10 人。

中段结构主要是有效载荷舱。这是一个大型货舱，可以装载各种卫星、空间实验室、大型天文望远镜和各种深空探测器等。为了在轨道上施放所携带的有效载荷或回收轨道上运行的有效载荷，舱内设有 1 ～ 2 个自动操作的遥控机械手和电视装置。机械手是一根很细的长杆，在地面上它几乎不能承受自身的重量，但是在失重条件下的宇宙空间，却可以迅速而灵活地载卸 10 吨多的有效载荷。中段机身除了提供货舱结构之外，也是前、后段机身的承载结构。

后段结构比较复杂，主要装有 3 台主发动机，尾段还装有 2 台轨道机动发动机和反作用控制系统。在主发动机熄火后，轨道机动发动机为航天飞机



美国“企业”号航天飞机进行降落测试

提供进入轨道、进行变轨机动和对接机动飞行以及返回时脱离轨道所需要的推力。反作用控制系统用来保持航天飞机的飞行稳定和姿态变换。除了动力装置系统之外，尾段还有升降副翼、襟翼、垂直尾翼、方向舵和减速板等气动控制部件。

2）外贮箱

外贮箱主要由前部液氧箱、后部液氢箱以及连接前后两箱的箱间段组成。外贮箱负责为航天飞机的 3 台主发动机提供燃料。它是航天飞机三大模块中唯一不能重复使用的部分，在发射后约 8.5 分钟，燃料耗尽，外贮箱便被坠入到大洋中。

3）火箭助推器

火箭助推器中装有助推燃料，平行安装在外贮箱的两侧，为航天飞机垂直起飞和飞出大气层进入轨道提供额外推力。在发射后的头两分钟内，与航天飞机的主发动机一同工作，到达一定高度后，与航天飞机分离，前锥段里降落伞系统启动，使其降落在大洋上，可回收重复使用。

航天飞机的作用

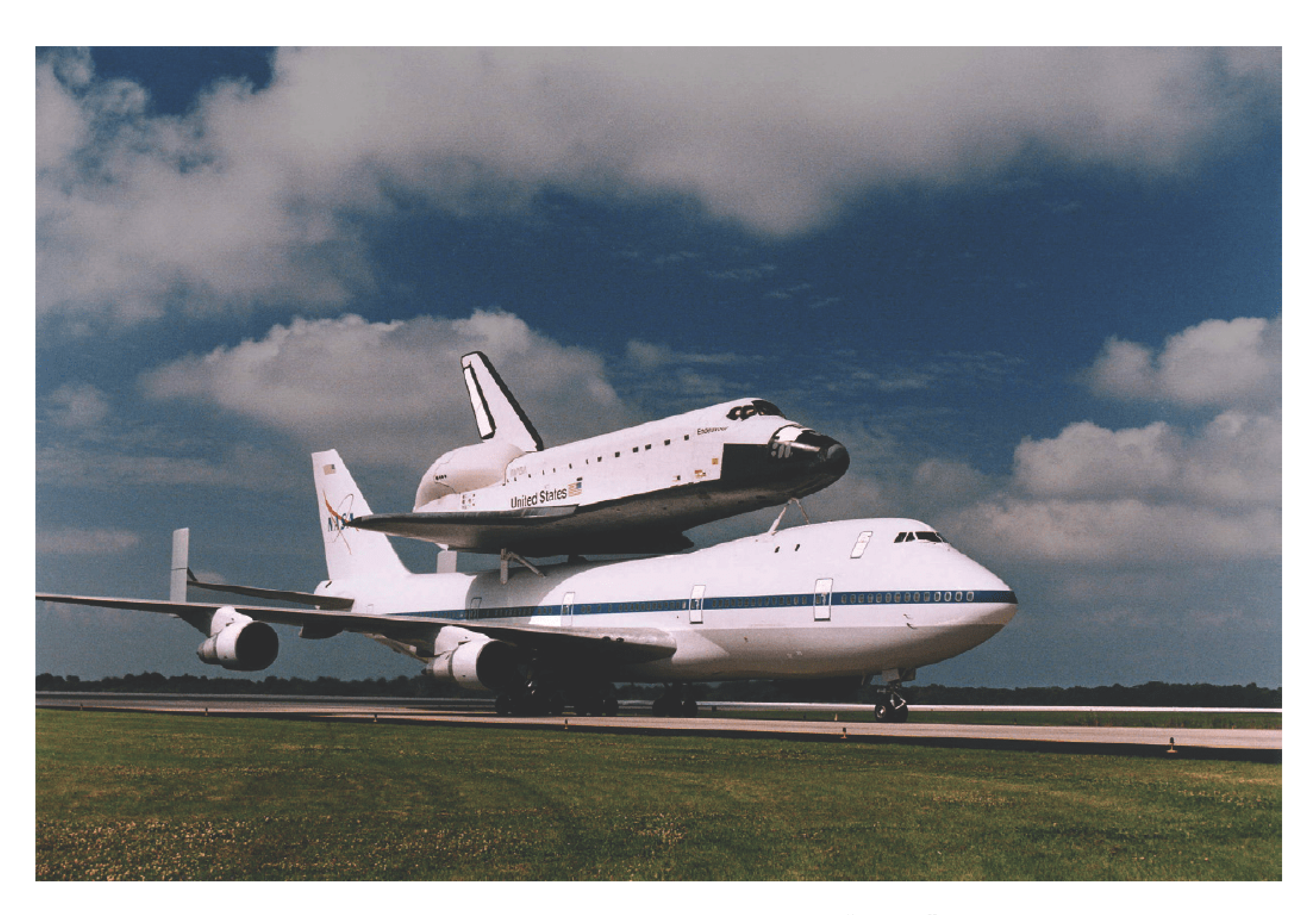
航天飞机除了可以在天地间运载人员和货物之外，凭着它本身的大容积、

可多人乘载和有效载荷量大的特点，还能在太空进行大量的科学实验和空间研究工作。它可以把人造卫星从地面带到太空去释放，或把在太空失效的或毁坏的无人航天器，如低轨道卫星等人造天体修好，再投入使用，甚至还可以把欧洲航天局研制的“空间实验室”装进舱内，进行各项科研工作。

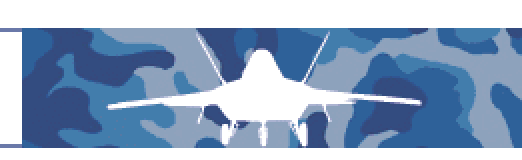
美国第一架正式服役的航天飞机“哥伦比亚”号于 1981 年 4 月 12 日发射升空。此后，美国又相继制造了“挑战者”号、“发现”号、“亚特兰蒂斯”号、“奋进”号等航天飞机，并多次进行太空飞行。进入 21 世纪，由于人类开始将太空探索的目光投向火星，对于服务于近地轨道的航天飞机来说已经没有用武之地。2011 年 7 月 21 日，“亚特兰蒂斯”号航天飞机在佛罗里达州肯尼迪航天中心安全着陆，结束其“谢幕之旅”，这意味着美国 30 年航天飞机时代宣告终结。

小贴士

从 1981 年至 1993 年年底，美国一共有 5 架航天飞机进行了 79 次飞行，其中“哥伦比亚”号 15 次，“挑战者”号 10 次，“发现”号 17 次，“亚特兰蒂斯”号 12 次，“奋进”号 25 次。每次载航天员 2～8 名，飞行时间从 2 天到 14 天不等。在 12 年中，共有 301 人次参加航天飞机飞行，其中包括 18 名女航天员。



美国国家航空航天局使用喷气式运输机运送“奋进”号航天飞机





NO.58 航天飞机频繁推迟发射的原因是什么？

航天飞机体形巨大，在进入地球大气时可以经受超高温度，让人感觉它非常坚固。但从某些方面来看，航天飞机也是非常脆弱的。美国国家航空航天局（NASA）将其描述为“迄今为止建造的最复杂的机器”。航天飞机有许多复杂的电路和移动部件，而它们都有可能出现故障。过去，小小的故障曾酿成巨大的灾难，如 1986 年“挑战者”号和 2003 年“哥伦比亚”号航天飞机的失事。

航天飞机推迟发射主要是因为它的复杂性和相对脆弱性。在发觉现有或潜在问题时，NASA 会推迟或取消发射。推迟发射可以消除威胁，或使工作人员有时间诊断和解决问题。

天气是常见的推迟原因。发射之前，NASA 运用气象气球、多普勒雷达、天气雷达和其他设备来密切监控发射台周围的天气情况。可能导致发射推迟的天气条件包括以下内容。

（1）降水。无论出现什么形式的降水，航天飞机都不能发射。

（2）云。当穿过或者接近积云时，航天飞机可能会引发危险的闪电。如果有云，工作人员会评估并分析它们以确定其是否会威胁到航天飞机或乘员的安全。



美国“发现”号航天飞机准备发射

（3）风。航天飞机不能在超过 19 节（35 千米 / 时）的东北风或者超过 34 节（63 千米 / 时）的其他方向的风中发射。

（4）绝对升限。美国空军第 45 太空联队的成员必须在航天飞机发射过程中与之保持目光接触。如果绝对升限低于 1800 米则不能做到这一点。

（5）温度。对于航天飞机发射来说，高温通常不是问题。但温度过低时可能会出现结冰现象，这是很危险的。



美国“挑战者”号航天飞机准备发射



机械故障是发射推迟的另一个主要原因。发射之前，工作人员和传感器会监控航天飞机的关键功能。如果有人发现异常，倒计时立即停止，以便工作人员发现和解决问题。航天飞机有效载荷中的机械故障也可能使发射推迟。例如，如果航天飞机的太空行动包括部署人造卫星，那么当人造卫星的传感器发生故障时，发射也会延迟。

通常，当天气晴朗或维修人员解决技术问题时，航天飞机仍留在发射台上。但有时必须将航天飞机移回航天器装配大楼，这称为回滚。从 1983 年 10 月到 2006 年 8 月，美国航天飞机有 17 次回滚，其中 6 次是由于天气原因，而其他各次则是由于技术问题或机械故障。还有一次回滚是因为一群啄木鸟在外部燃料箱的绝缘材料上啄出了洞。

一些发射仅推迟了几分钟，但即使是非常短的推迟也可能会导致航天飞机错过发射窗口。如果航天飞机的太空行动要求它到达特定目的地，则发射窗口可能非常短，从几分钟到 2 小时不等。发射窗口也可能会因为 NASA 与其他太空机构签署的协议而取消。

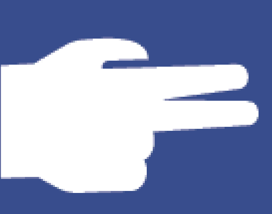


美国“亚特兰蒂斯”号航天飞机由火箭携带升空



依靠火箭高速飞行的美国“亚特兰蒂斯”号航天飞机

美国 X-33“冒险之星”空天飞机飞行示意图



NO.59　空天飞机的发动机有何特别之处？

空天飞机是航空航天飞机的简称，它是既能航空又能航天的新型飞行器，是航空技术与航天技术高度结合的飞行器。空天飞机集喷气式飞机、运载火箭与航天飞机于一身，它既可以作为载人航天器，又可完全重复使用。

空天飞机上同时有飞机发动机和火箭发动机，它起飞时并不使用火箭助推器，而是像普通飞机一样从跑道上凭借喷气式发动机起飞，在高空逐渐加速，以高超音速在大气层上层飞行。进入太空前，因为氧气稀薄，喷气式发动机会切换为火箭发动机，以自带的氧化剂和燃烧剂助推进入太空，成为航天器。空天飞机降落时则可以像普通飞机一样在飞机场降落。

为了实现这一功能，工程师想到一个可行的解决方法，就是使用超音速燃烧冲压喷气发动机（Scramjet）作为空天飞机的引擎。这种发动机在升空

时会从大气中吸入氧气。由于飞行时会捕捉空气而不用携带载助燃剂，飞机起飞重量大大减轻。以目前最先进的航天飞机为例，其有一半的发射重量是来自液态氧与氧化剂。整个系统必须一路承载着这些重量，让火箭持续燃烧燃料以进入轨道。换句话说，同样燃烧 1 千克的推进剂时，超音速燃烧冲压喷气发动机所产生的推进力是火箭的 4 倍。

在经过几十年断断续续的发展后，具备实用性的超音速燃烧冲压喷气发动机已有望正式投入使用。各国研究人员已经在 2007 年和 2008 年对这种发动机进行了关键而全面的地面测试，2009 年也进行了一系列突破技术障碍的飞行试验。

例如，美国能源部的劳伦斯 - 利弗莫尔国家实验室已完成一种超高音速飞机的革命性设计。这架原型机是用氢做动力，时速近 11000 千米，即 10 倍音速。这样的速度使其可在 2 小时内飞到全球任何位置。这种飞机的与众不同在于它的飞行轨迹，它在大气层上缘弹跳前进，其轨迹类似一条正弦曲线。按照设计师的构想，这种飞机首先穿越大气层到 40 千米的高空，关掉发动机靠重力与惯性降回大气层表面。此时再启动超音速燃烧冲压喷气发动机吸入空气推进助燃，再次升入太空。如此往复，不但燃料的燃烧效率得以提高，还减少了散热的麻烦。



美国 X-37 空天飞机准备发射





NO.60 国际空间站的主要结构和功能是什么？

国际空间站（International Space Station，ISS）是一个由 6 个国际主要太空机构联合推进的国际合作计划。这 6 个太空机构分别是美国国家航空航天局、俄罗斯联邦航天局、欧洲航天局、日本宇宙航空研究开发机构、加拿大国家航天局和巴西航天局。参与该计划的共有 16 个国家或地区组织，包括美国、俄罗斯、日本、加拿大、巴西、比利时、丹麦、法国、德国、意大利、挪威、荷兰、西班牙、瑞典、瑞士和英国等。

命名由来

国际空间站的设想是 1983 年由美国总统里根首先提出的，经过近十余年的探索和多次重新设计，直到苏联解体，俄罗斯加盟，国际空间站才于 1993 年完成设计，开始实施。

“国际空间站”这一名称是不同命名之间妥协的产物。国际空间站最初提议的名字是“阿尔法空间站（Alpha）”，但是遭到俄罗斯的反对，俄方认为这样的命名暗示国际空间站是人类历史上第一个空间站，可是事实上苏联以及后来的俄罗斯先后成功地运行过 8 个空间站。



航天员正在搭建国际空间站的综合桁架结构

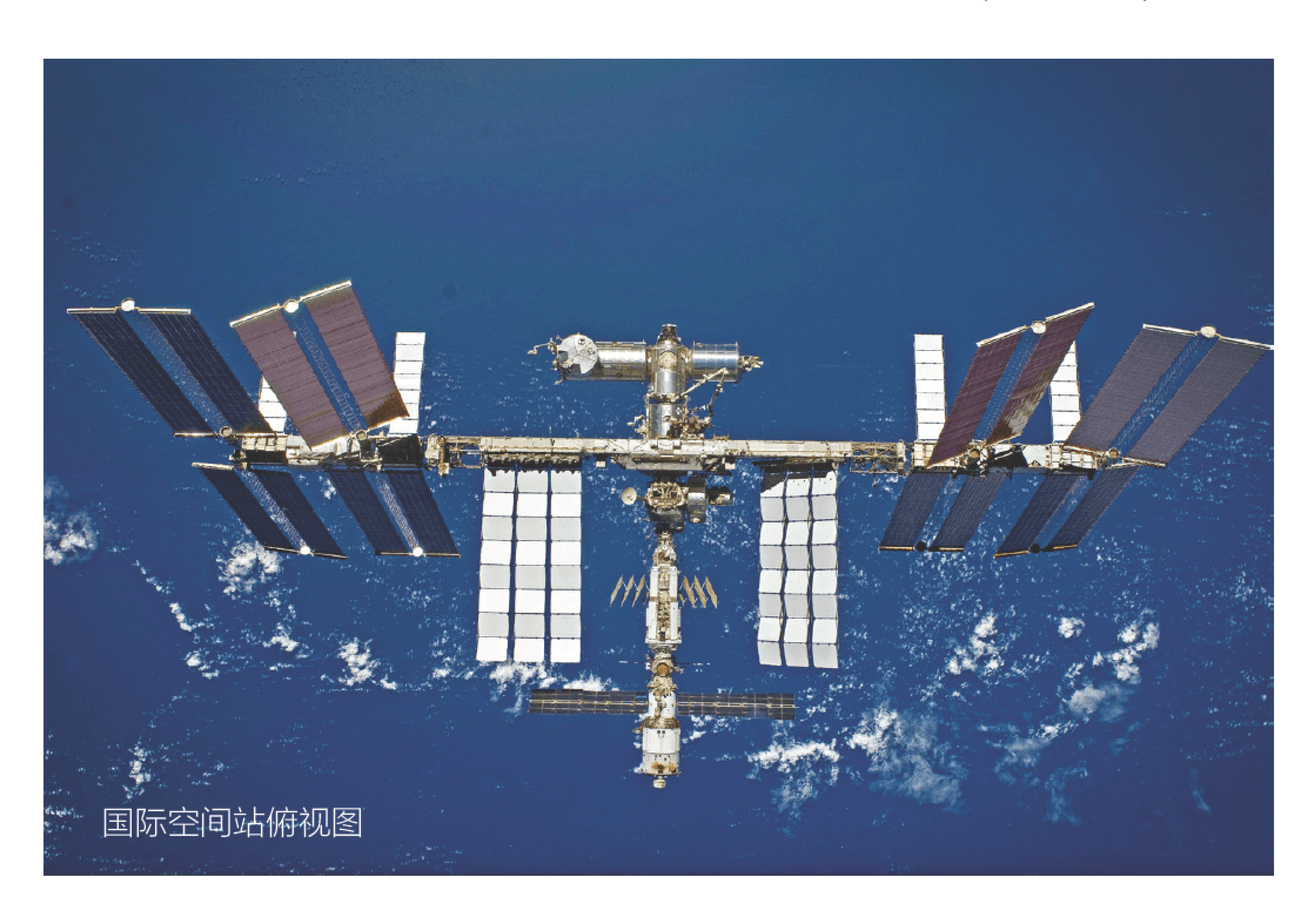
俄罗斯提议将空间站命名为“亚特兰大”（Atlanta），但是这个议案遭到美国的反对，美方认为亚特兰大的读音和拼写太接近传说中沉没的大陆“亚特兰蒂斯”，其中似乎隐含了不祥的征兆，而且亚特兰大这个名字也容易与美国的一架航天飞机“亚特兰蒂斯”号航天飞机相混淆。

小贴士

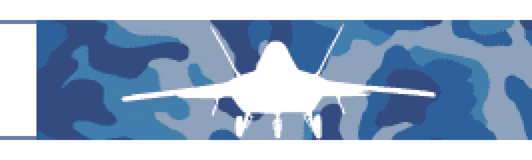
虽然国际空间站的命名没有采用最初提出的“阿尔法空间站”，但是空间站的无线电呼号却是“阿尔法”，这个呼号是空间站第一批乘员登站时确定的，当时国际空间站的名字仍然未定，时任美国国家航空航天局主席的丹尼尔·戈登便给空间站取了一个临时呼号“阿尔法”，这个呼号最后沿用下来，成为空间站的正式电台呼号。

主要结构

国际空间站总体设计采用桁架挂舱式结构，即以桁架为基本结构，增压舱和其他各种服务设施挂靠在桁架上，形成桁架挂舱式空间站。大体上看，国际空间站可视为由两大部分立体交叉组合而成：一部分是以俄罗斯的多功能舱为基础，通过对接舱段及节点舱，与俄罗斯服务舱、实验舱、生命保障舱、美国实验舱、日本实验舱、欧洲航天局的“哥伦布”轨道设施等对接，



国际空间站俯视图



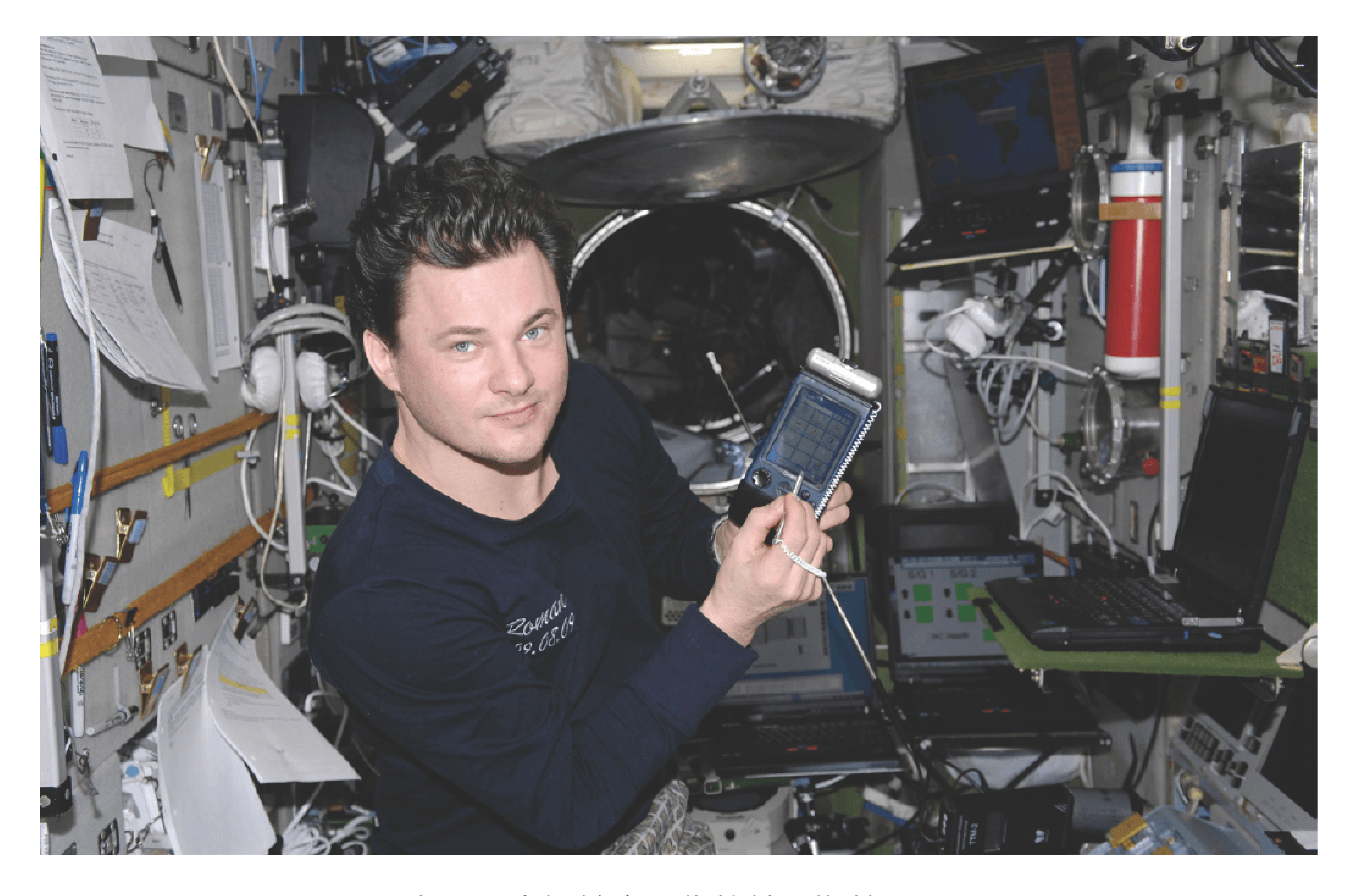
形成空间站的核心部分；另一部分是在美国的桁架结构上，装有加拿大的遥操作机械臂服务系统和空间站舱外设备，在桁架的两端安装 4 对大型太阳能电池帆板。这两大部分垂直交叉构成“龙骨架”，不仅加强了空间站的刚度，而且有利于各分系统和科学实验设备、仪器工作性能的正常发挥，有利于航天员出舱装配与维修等。

国际空间站的各种部件是由各国分别研制，其中美国和俄罗斯提供的部件最多，其次是欧洲航天局、日本、加拿大和意大利。这些部件中核心的部件包括多功能舱、服务舱、实验舱和遥操作机械臂等。俄罗斯研制的多功能舱具有推进、导航、通信、发电、防热、居住、贮存燃料和对接等多种功能，在国际空间站的初期装配过程中提供电力、轨道高度控制及计算机指令；在国际空间站运行期间，可提供轨道机动能力和贮存推进剂。

俄罗斯服务舱作为国际空间站组装期间的控制中心，用于整个国际空间站的姿态控制和再推进；它带有卫生间、睡袋、冰箱等生保设施，可容纳 3 名航天员居住；它还带有一对太阳能电池板，可向俄罗斯部件提供电源。

实验舱是国际空间站进行科学研究的主要场所，包括美国的实验舱和离心机舱、俄罗斯的研究舱、欧洲航天局的“哥伦布”轨道设施和日本实验舱。舱内的实验设备和仪器大部分都放在国际标准机柜内，以便于维护和更换。

加拿大研制的遥操作机械臂长 17.6 米，能搬动重量为 20 吨左右、尺寸



在国际空间站中工作的俄罗斯航天员

为 18.3 米 ×4.6 米的有效载荷，可用于空间站的装配与维修、轨道器的对接与分离、有效载荷操作以及协助出舱活动等，在国际空间站的装配和维护中将发挥关键作用。

主要功能

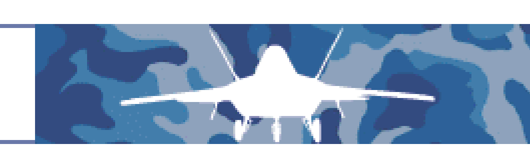
国际空间站将作为科学研究和开发太空资源的手段，为人类提供一个长期在太空轨道上进行对地观测和天文观测的机会。

在对地观测方面，国际空间站要比遥感卫星优越。首先它是有人参与到遥感任务之中，因而当地球上发生地震、海啸或火山喷发等事件时，在站上的航天员可以及时调整遥感器的各种参数，以获得最佳观测效果；当遥感器等仪器设备发生故障时，又可随时维修到正常工作状态；它还可以通过航天飞机或飞船更换遥感仪器设备，使新技术及时得到应用而又节省经费。用它对地球大气质量进行监测，可长期预报气候变化。在陆地资源开发，海洋资源利用等方面，也都会从中受益。

国际空间站在天文观测上要比其他航天器优越得多，是了解宇宙天体位置、分布、运动结构、物理状态、化学组成及其演变规律的重要手段。因为有人参与观测，再加上空间站在太空的活动位置和多方向性，以及机动的观察测定方法，因而可充分发挥仪器设备的作用。通过国际空间站，天文学家不仅能获得宇宙射线，亚原子粒子等重要信息，了解宇宙奥秘，而且还能对影响地球环境的天文事件（如太阳耀斑、暗条爆发等）作出快速反应，及时保护地球，保护在太空飞行的航天器及其成员。

国际空间站上的生命科学研究，可分为人体生命与重力生物学两方面：人体生命科学的研究成果可直接促进航天医学的发展，例如，通过多种参数来判断重力对航天员身体的影响，可提高对人的大脑、神经和骨骼及肌肉等方面的研究水平。重力生物学和材料科学的研究与应用具有广阔的前景，而国际空间站的微重力条件要比和平号空间站和航天飞机优越得多，特别是在材料发展上可能起到一次革命性的进展。

仅就太空微重力这一特殊因素来说，国际空间站就能给研究生命科学、生物技术、航天医学、材料科学、流体物理、燃烧科学等提供比地球上好得多，甚至在地球无法提供的优越条件，直接促进这些科学的进步。同时，国际空间站的建成和应用，也是向着建造太空工厂、太空发电站，进行太空旅游，建立永久性居住区（太空城堡）向太空其他星球移民等载人航天的远期目标接近了一步。





美国航天员佩姬·惠特森在国际空间站中进行蔬菜种植试验



NO.61 充气式空间站是异想天开还是切实可行?

众所周知，从苏联发射世界上第一个空间站“礼炮 1 号”开始，人类已经向太空发射了十余个大型空间站，这些空间站都是采用金属外壳和架构。然而，美国毕格罗航宇公司却在研制充气式空间站。

迄今为止，人类发射的空间站无论是单一式还是组合式都是采用金属外壳。金属的外壳可以为航天员提供一个相对安全的环境，这是航天员在空间站中开展工作和生活的前提。虽然采用金属外壳的空间站具有坚固牢靠的优点，但如果要建造一个大型组合式空间站，尺寸巨大的舱段和桁架必须使用火箭或航天飞机一个接一个发射进入太空，然后在太空进行组装，工作量非常大。以现役的国际空间站为例，它于 1993 年完成设计，建造工作一直持续了十余年。其中，发射和组装的工作量大是导致建造进程缓慢的一个重要原因。为此，各航天大国一直都在寻求这个问题的解决办法，充气式空间站就是其中一种思路。

现代社会中，很多物品都采用折叠设计，如充气床、充气沙发，这些充气式设计的物品不用时放掉气体，折叠后占用很小的空间。既然日常生活用品可以采用折叠设计，空间站也可以考虑采用充气式设计。充气式空间站发射前折叠在火箭整流罩内，在进入太空后充气展开。

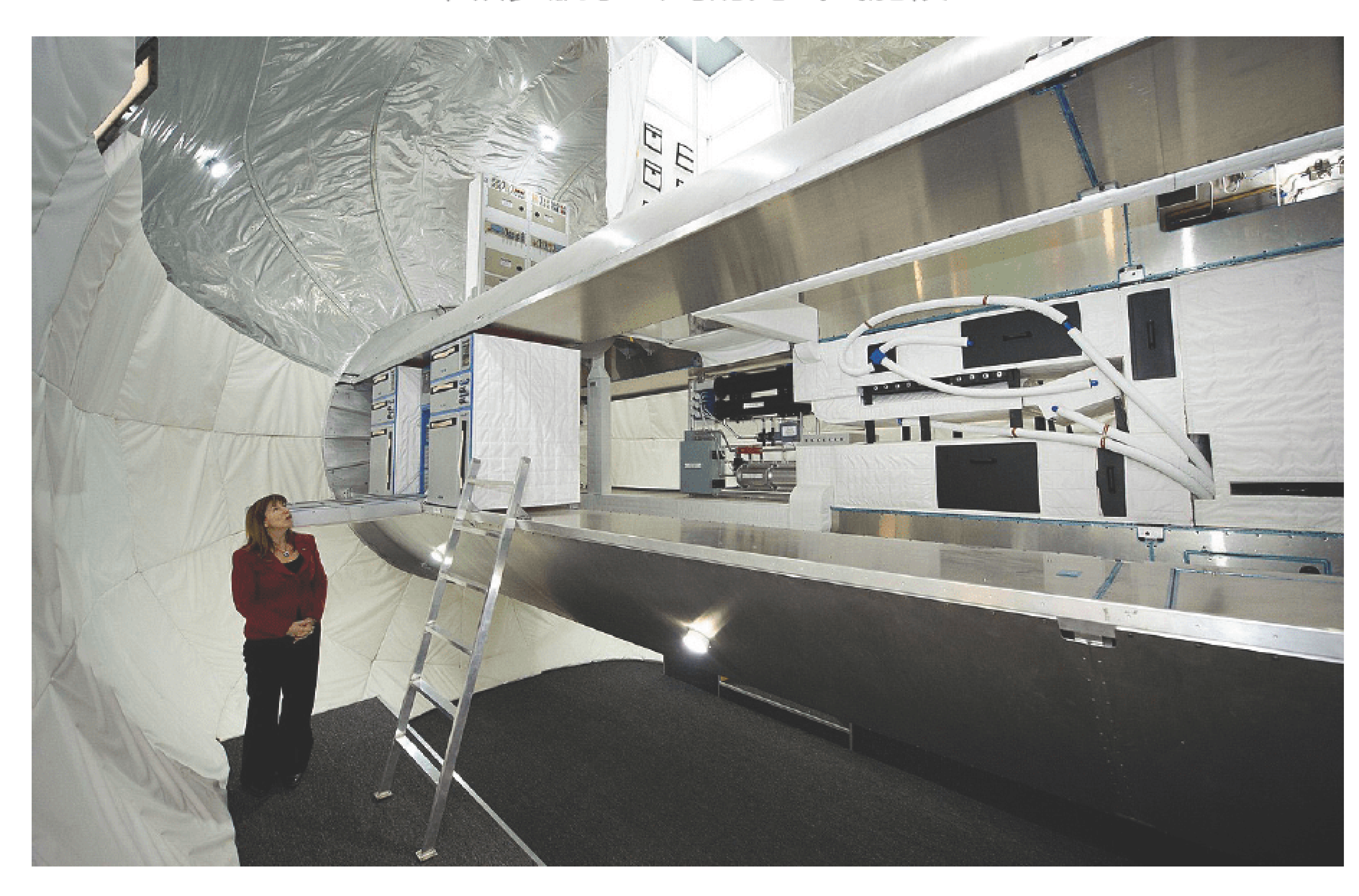
事实上，在 20 世纪 60 年代，美国国家航空航天局（NASA）就有类似的想法。当时，NASA 授权一个轮胎生产厂研制可折叠的卫星，但该厂跳不

出研制轮胎的思路，制造出了一个巨大轮胎形卫星，自然没有被 NASA 看上。20 世纪 90 年代，在论证国际空间站过程中，NASA 计划为空间站打造一个充气式舱段，但由于存在较大的技术风险，心里没底的 NASA 最终没有发射这个舱段。最后，NASA 将充气式舱段的专利卖给了毕格罗航宇公司。毕格罗航宇公司购买到技术之后就提出了雄心勃勃的建造充气式空间站计划。

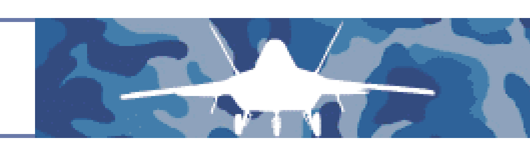
除了毕格罗航宇公司，俄罗斯也在进行充气式舱段和空间站的研究。早在 2006 年，俄罗斯就使用“第聂伯”运载火箭将“起源 1 号”充气式试验



毕格罗航宇公司的充气式舱段



充气式舱段内部



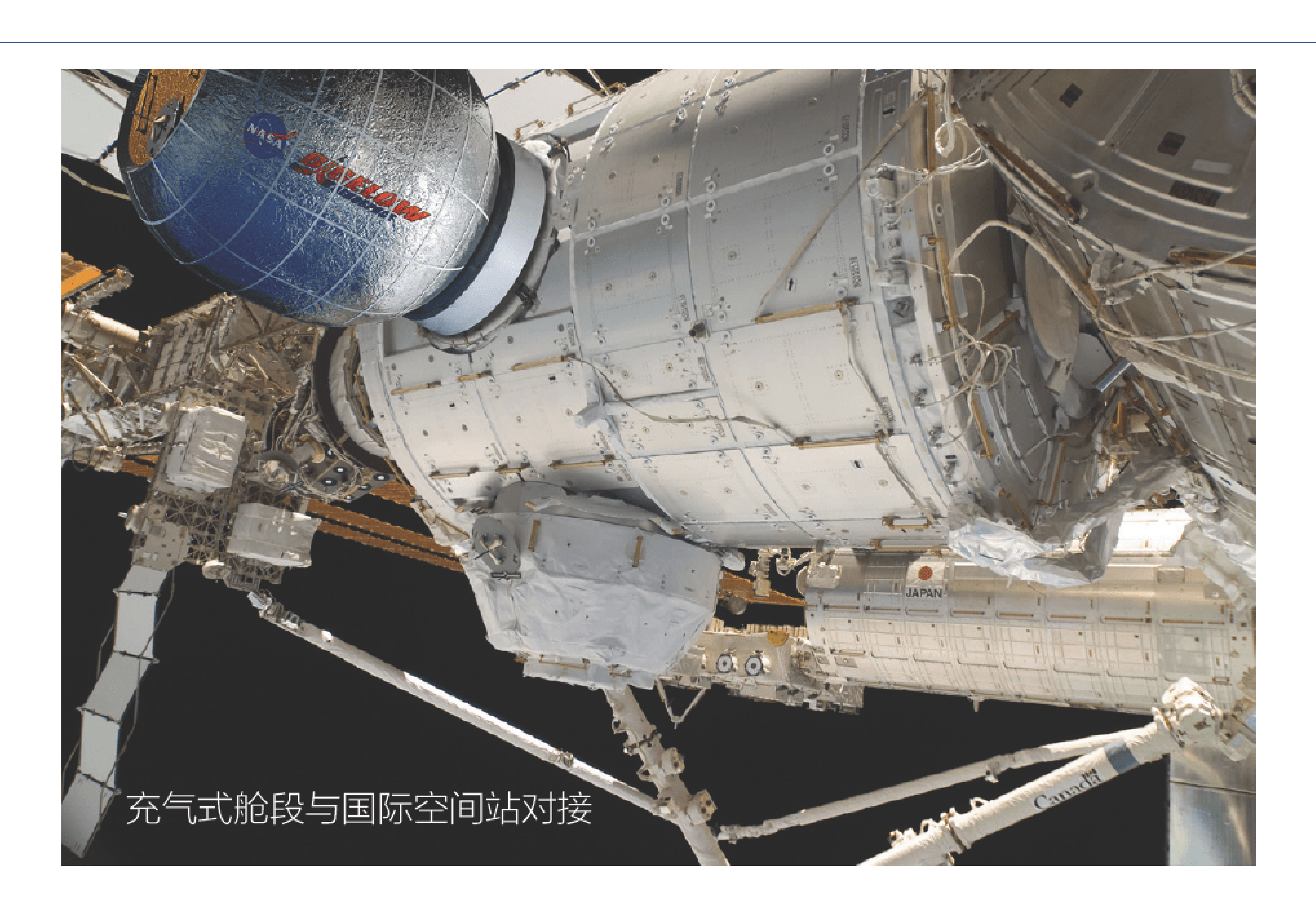
轨道飞行器送入了太空，验证充气式飞行器自动展开技术。据悉，俄罗斯还会启动充气式太空旅馆、充气式星际飞船等航天器的研究工作。

与金属外壳空间站相比，充气式空间站可以获得更大的容积。这是因为充气式空间站进入太空后可充气展开，而金属外壳的空间站在地面多大，上太空后也就多大。空间站容积越大，空间站就可以搭载更多的载荷，航天员居住和工作环境也更加舒适。

充气式空间站确实有许多优点，但必须解决辐射、抵御太空微小垃圾撞击等难题。以抵御太空微小垃圾撞击为例，这些太空垃圾运行速度非常快，即使尺寸很小的垃圾撞到空间站，撞击的能量还是非常大的，会割破充气式空间站的外壳。目前，制造充气式空间站的材料技术已经有了突破，当务之急就是进行在轨测试，再根据测试结果进行改进。随着关键技术的逐步突破，充气式空间站将步入实用阶段。此外，以充气式空间站为基础还可以建造月球基地、星际飞行载人飞船等，可以说大有用武之地。

小贴士

毕格罗航宇公司计划建造两个独立的充气式舱段，分别被命名为“创世纪 1 号”和“创世纪 2 号”，这两个充气式舱段旨在验证充气式空间站部署到地球轨道上的基本条件，并为未来建立更大规模的充气式空间站做准备。同时，NASA 也将对充气式空间站进行测试，确定其是否适合进行载人居住，尤其是空间站内部的辐射水平能否达到安全标准。



充气式舱段与国际空间站对接

 NO.62　载人航天器如何预防和处理火灾事故？

1967 年 1 月 27 日，美国“阿波罗 1 号”在进行的一次例行测试中，指令舱发生大火，三名宇航员：指令长维吉尔·格里森、高级驾驶员爱德华·怀特及驾驶员罗杰·查菲丧生。这是美国太空探索史上第一次严重事故，也是美国国家航空航天局登月计划遭遇的第一次重挫。

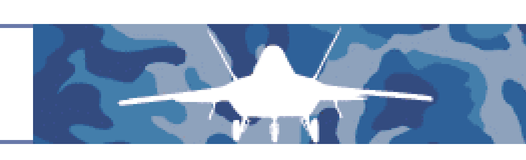
在载人航天器内，哪怕是一个小小的火花，都可能引发一场航天灾难，因为那里没有充足的用于灭火的水。即使航天器内有充足的水，也不能像在地面灭火那样，将水喷到火焰上，因为喷出的水珠将完全飘浮在航天器内造成危害，航天器内一旦发生火灾，其结果不仅损坏仪器设备，使航天器不能正常运转，而且燃烧产生的有毒、有害烟气不能及时排出，会威胁航天员的生命和健康。

科学研究表明，燃烧需要同时具备三个要素，即氧气、可燃材料和点火源。为了保障航天员的正常生活，载人航天器舱内的空气一般采用与地面相近的成分配比，即氧气含量约为 21%。在某些特定的情况下，舱内氧气浓度可能达到 30% ～ 40%。由于载人航天器舱内有氧气，燃烧的第一个条件已经具备。制造载人航天器使用的非金属材料多达几百种，其中不乏可燃材料，因此发生燃烧的第二个条件也具备。如果载人航天器的电气设备发生故障，产生局部过热、短路或电火花等现象，都可能提供燃烧的第三个条件——点火源。因此，从理论上讲，无法杜绝载人航天器的火灾安全隐患，稍有不慎，载人航天器就有发生火灾事故的危险。



发生火灾后的“阿波罗 1 号”指令舱

对于长时间的太空飞行来说，有人认为偶然发生火灾事故是无法避免的。既然如此，研究微重力环境中燃烧发生和发展的特性，研究预防、控制、消灭火灾的方法和技术，就成为



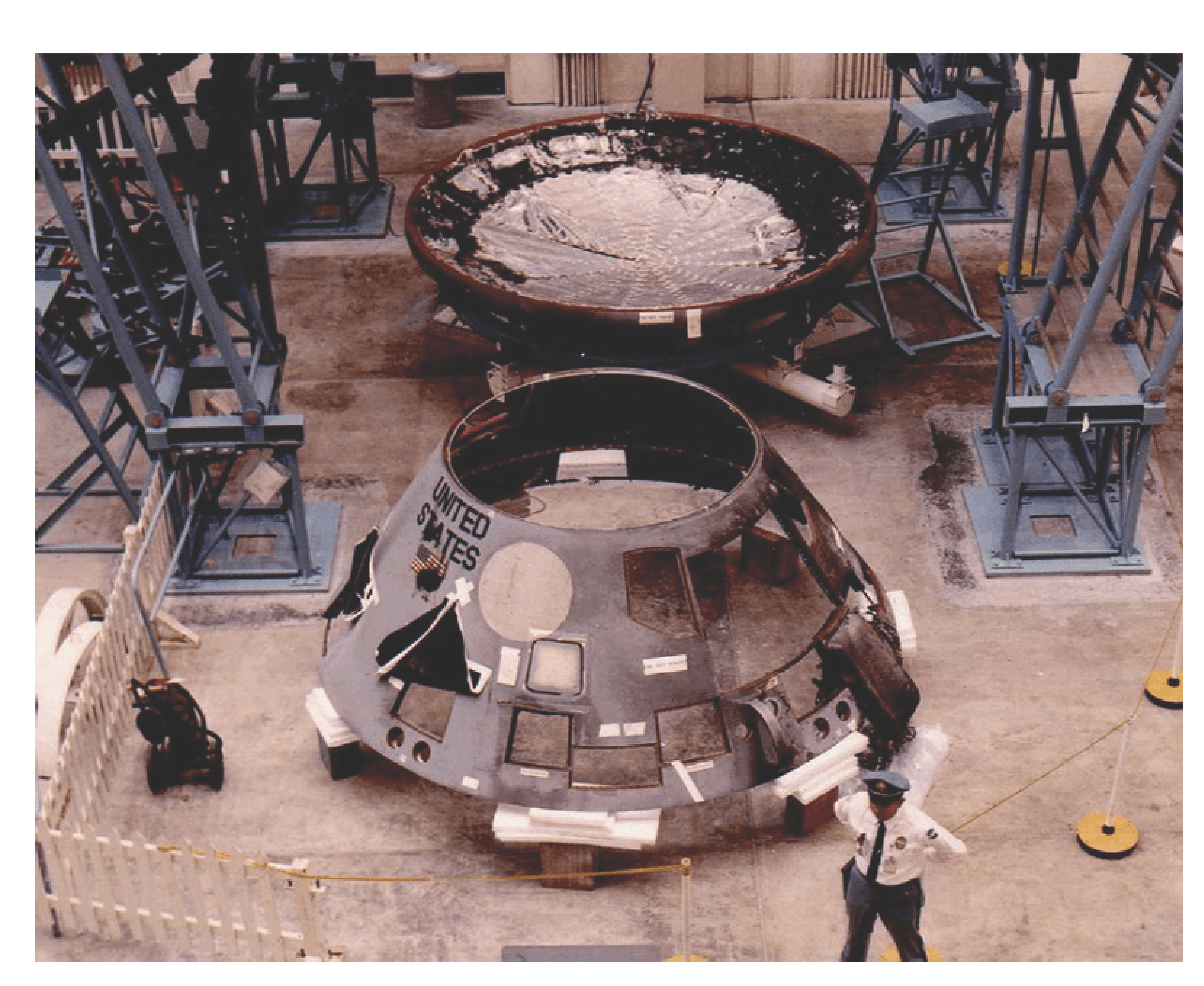
航天工程中的一项重要工作。目前，这项工作已引起世界上各航天大国的高度重视。

在应对火灾过程中，预警是一个非常重要的环节，它可以让航天员有一定的反应时间和提前量，控制火情，从而降低火灾的发生概率。目前，载人航天器主要依靠能探测烟、光或热的传感器进行火情探测。此外，一些舱载设备所配置的能感知局部过热的温度传感器，也会提供辅助信息，帮助对火情进行综合判断。

火灾发生过程中会产生大量烟雾和有害气体，其中烟是最致命的因素。所以，航天器舱内配备了特制的呼吸防护面具。航天器内发生火灾时，航天员首先要戴上呼吸防护面具，确保自身安全，然后再灭火。在太空中，燃烧的规律与地面不同：由于没有重力作用，空气无法形成对流，燃烧会局限在一个较小的区域，或者呈现阴燃（没有火焰的缓慢燃烧）现象。所以从某种程度上来说，微重力环境对救火是有利的。

灭火的机理就是阻断氧气，没有氧气助燃，就不会有燃烧了。太空中不能用水来灭火，因为水在太空中不会像在地球上那样落下和流动，而会飘浮在舱内，造成舱内仪器设备短路，甚至导致航天器不能正常工作。座舱是非常狭小的密闭空间，灭火措施既要保证及时控制火势，又不能因灭火导致舱内空气环境恶化。

发生小火灾时，航天员可以用灭火手套扑灭火焰；如果火情严重，可使用特殊灭火剂来灭火。对于多舱段的大型载人航天器（如空间站），可临时将出现火情的舱段隔离，采用二氧化碳管路向该舱排放二氧化碳来抑制和消灭火情。此外，座舱紧急减压也是一种灭火方



“阿波罗 1 号”指令舱被拆解

案。减压后没有了氧气，自然就不会燃烧了。但这必须与舱内航天服及座舱压力应急系统等协同工作。灭火后，舱内一般会留有少量有毒物质，因此还必须进行排放和消毒处理。



NO.63 货运飞船的主要作用是什么？

货运飞船是一种专门运送货物到达太空的航天器，其主要任务是向空间站定期补给食品、货物、燃料和仪器设备等。它是国际空间站补给物资的重要运输工具，也是空间站的地面后勤保障系统。

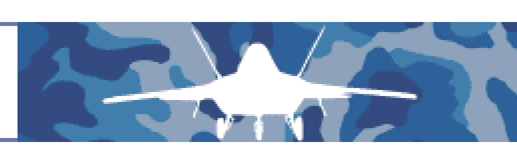
货运飞船的主要作用有三个，一是补给空间站的推进剂和氧气的消耗，运送空间站维修和更换设备，在各种功能上延长空间站的在轨飞行寿命；二是运送航天员在太空工作和生活的各种必需品，保障空间站航天员在轨中长期驻留和工作；三是运送空间科学实验设备和用品，建造并保障空间科学实验与应用的条件。

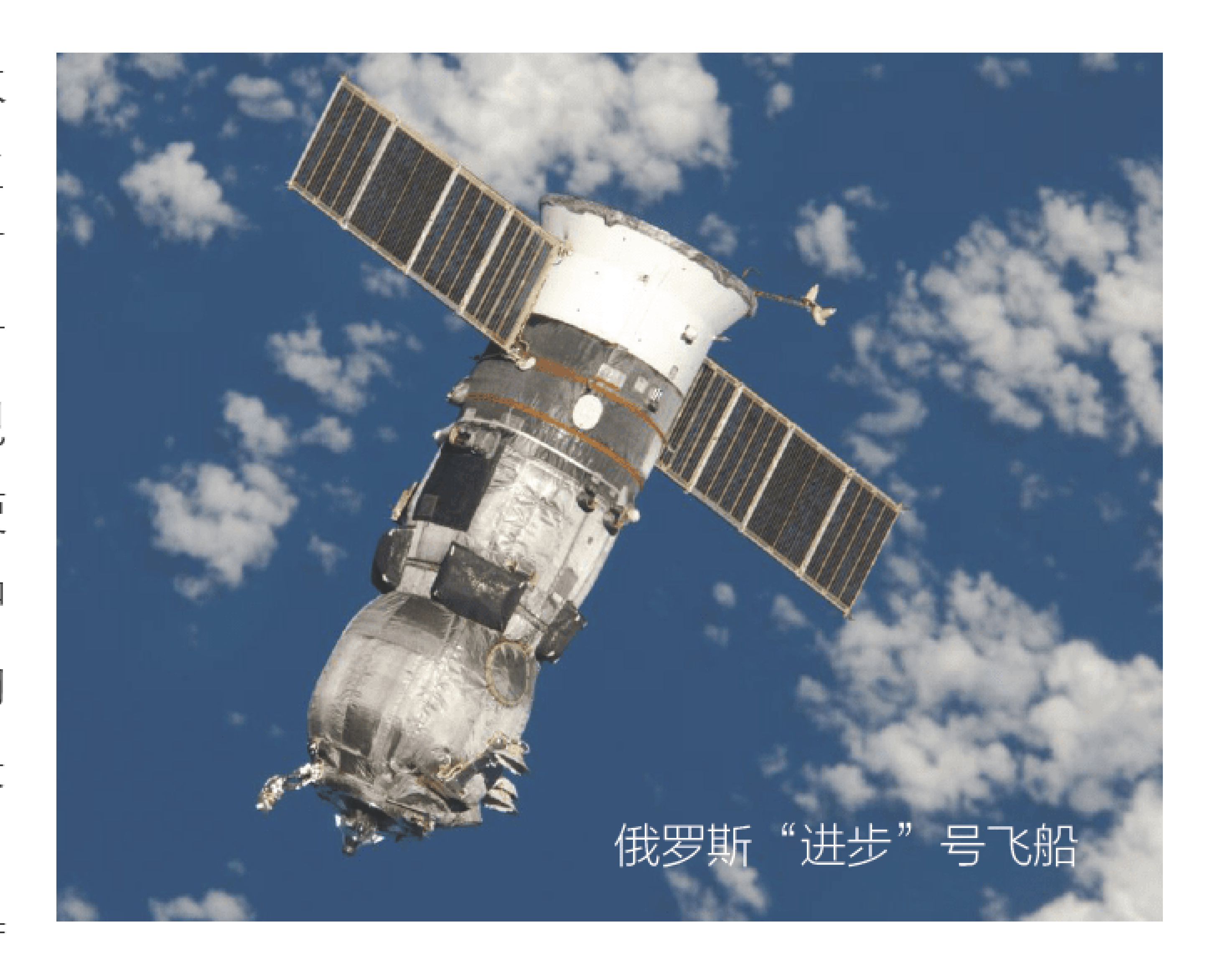
货运飞船与空间站对接后，将根据空间站的需求分次进行推进剂补给，实现航天员生活用品、维持舱压气体的补给，存储空间实验设备和用品，收集废弃物，在完成任务后坠入大气层烧毁。

目前，世界上的货运飞船主要有美国的“龙”飞船、俄罗斯的“进步”号飞船、欧洲的自动货运飞船（ATV）等。



美国“龙”飞船



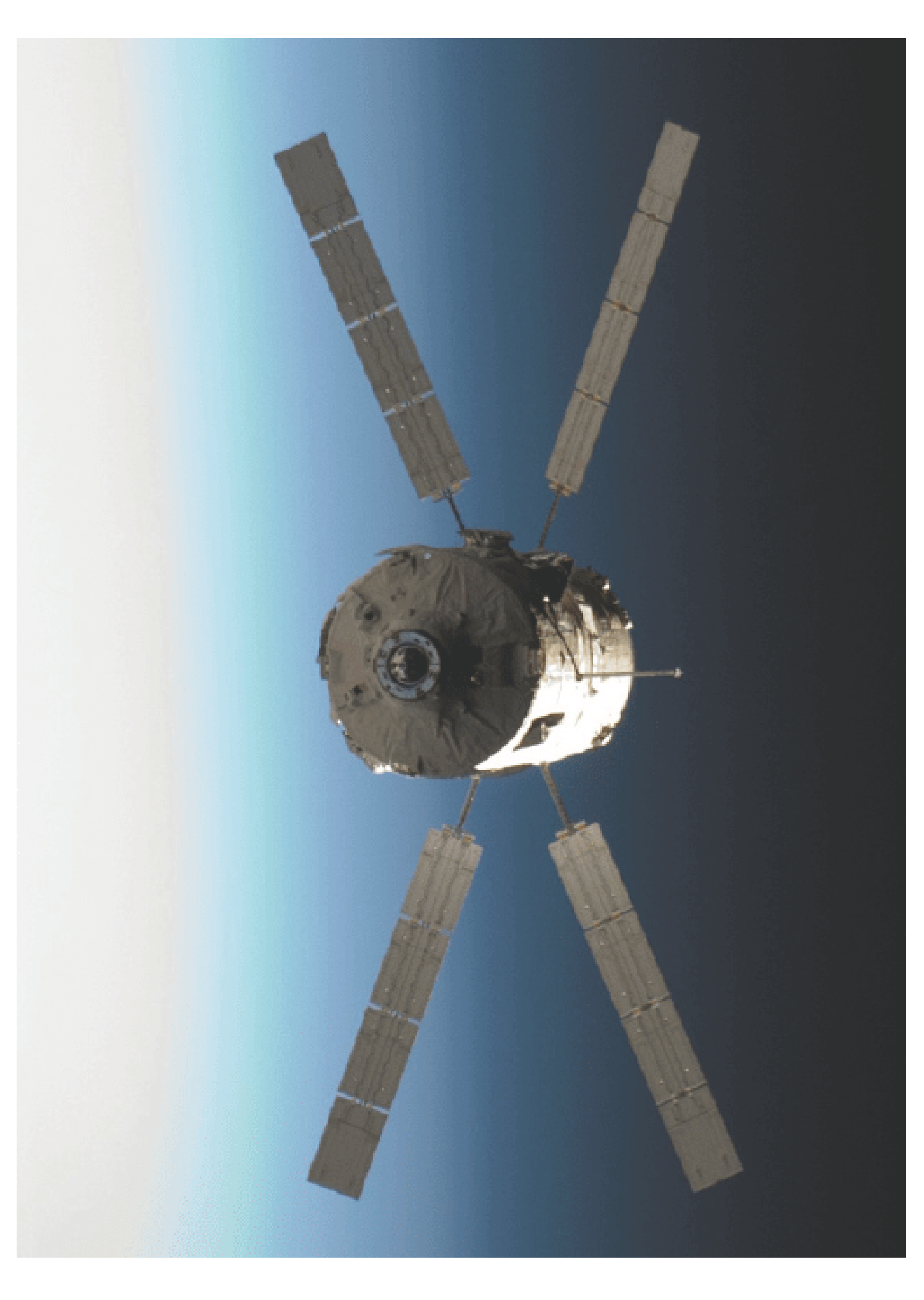


俄罗斯“进步”号飞船

“龙”飞船由美国太空探索公司 SpaceX 自主研发，飞船的加压舱带有热防护罩，可在返回时耐受极高温安全降落，实现回收并重复使用，这也使得“龙”飞船成为第一种具备大量货物下行能力的货运飞船。“龙”飞船长 5.9 米，最大直径 3.6 米，自重 4.2 吨。其运送载荷最大质量 6 吨，返回载荷最大质量 3 吨，它采用的是降落伞水上溅落的回收方式。在 2010 年和 2012 年完成两次技术验证飞行后，迄今为止，“龙”飞船为国际空间站执行了 11 次货运任务并成功 10 次。

“进步”号飞船是人类第一艘货运飞船，首艘飞船“进步 1 号”于 1978 年 1 月 20 日在苏联拜科努尔航天中心发射。“进步”号为无人驾驶飞船，由仪器舱和货舱组成，货舱容积 6.6 立方米，可运送 2.6 吨各类货物。燃料舱带 1 吨燃料，可自行飞行 4 天，最新型“进步 MS”系列飞船具有额外的防护太空垃圾和微陨石的能力。“进步”号飞船本身不像载人飞船那样可以回收，一般在完成补给任务后，航天员会将空间站上产生的各种生活垃圾和废物填入“进步”号，随之离轨一同销毁。

欧洲的自动货运飞船，全长 10 米，最大直径为 4.5 米，重量约 10 吨。它的运货能力最大可达 7 吨。从 2008 年到 2014 年自动货运飞船共发射了 5 艘，今后将不再发射。欧洲航天局正在研制可以运送货物返回地球的货运飞船。



欧洲首艘自动货运飞船“儒勒·凡尔纳”号

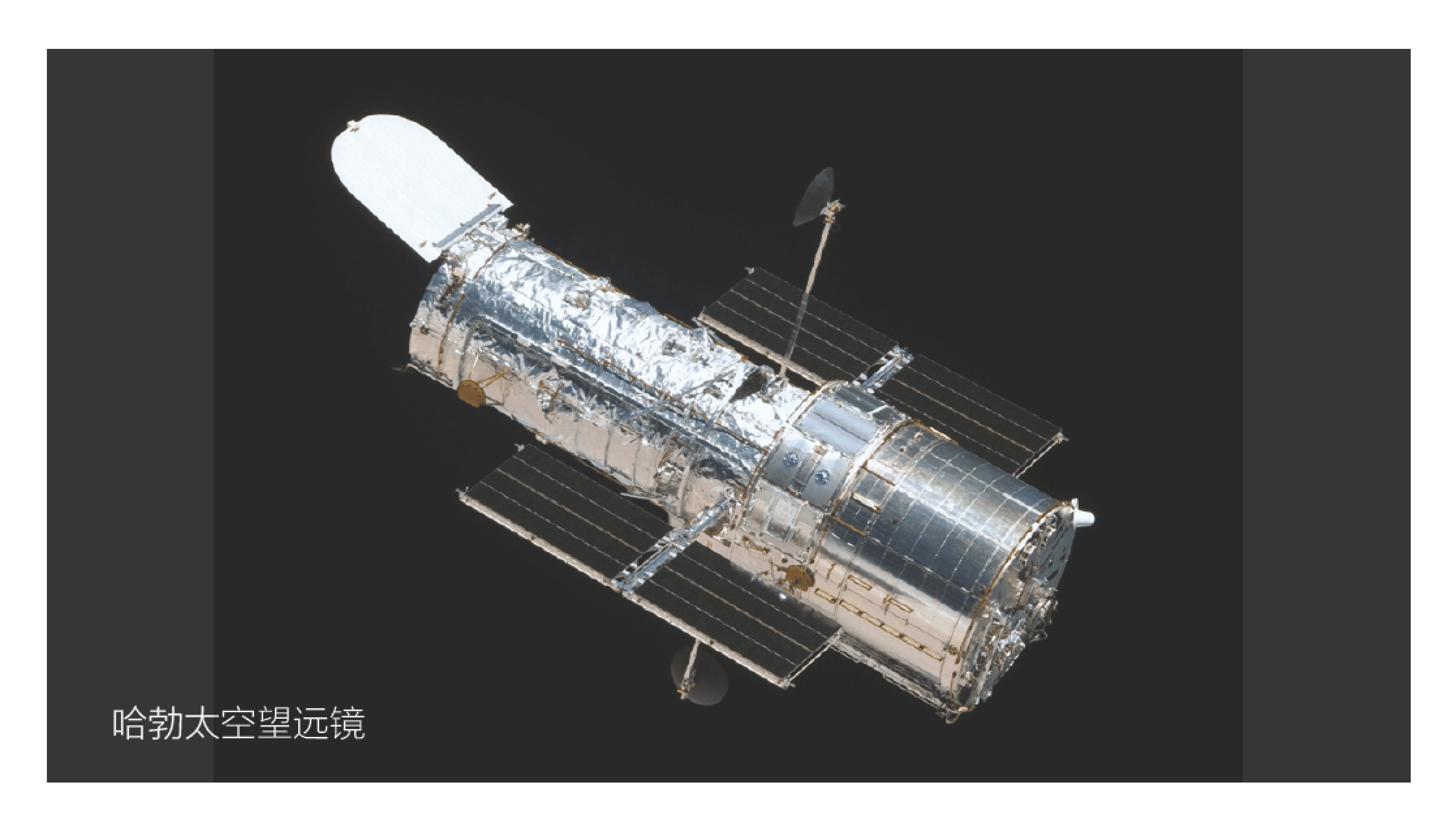


NO.64　哈勃太空望远镜的作用是什么？

在各种天文卫星中，最重要、名声最大、影响最大的当数美国的哈勃太空望远镜（Hubble Space Telescope）。它是以著名天文学家、美国芝加哥大学天文学博士爱德温 • 哈勃（Edwin Hubble）为名，是在地球轨道上并且围绕地球的太空望远镜。

哈勃太空望远镜的位置在地球的大气层之上，因此影像不会受到大气湍流的扰动，视相度绝佳又没有大气散射造成的背景光，还能观测会被臭氧层吸收的紫外线，是天文史上最重要的仪器之一。它成功弥补了地面观测的不足，帮助天文学家解决了许多天文学上的基本问题，使得人类对天文物理有了更多认识。此外，哈勃太空望远镜的超深空视场则是天文学家目前能获得的最深入、最敏锐的太空光学影像。

哈勃太空望远镜由三大部件系统组成：光学部件、科学仪器、保障系统。光学部件是一架卡塞格伦式光学望远镜。入射光由 3 米宽的舱门进入，射到直径为 2.4 米的主镜上，再反射到在它前面 4.88 米处的副镜上。副镜将光线聚焦后，重新再返回到主镜，从主镜中央小孔穿过到达焦平面。考虑到振动、温度、重力等变化的影响，主镜和副镜上各有 24 个和 6 个作动器，用于进行调节，使聚焦光线能到达焦平面。哈勃太空望远镜上的科学仪器有 5 个，包括广角行星照相机、暗弱天体照相机、暗弱三体摄谱仪、戈达德高分辨率摄谱仪和高速光度计。哈勃太空望远镜上还装有精确制导敏感器，它可测出


哈勃太空望远镜



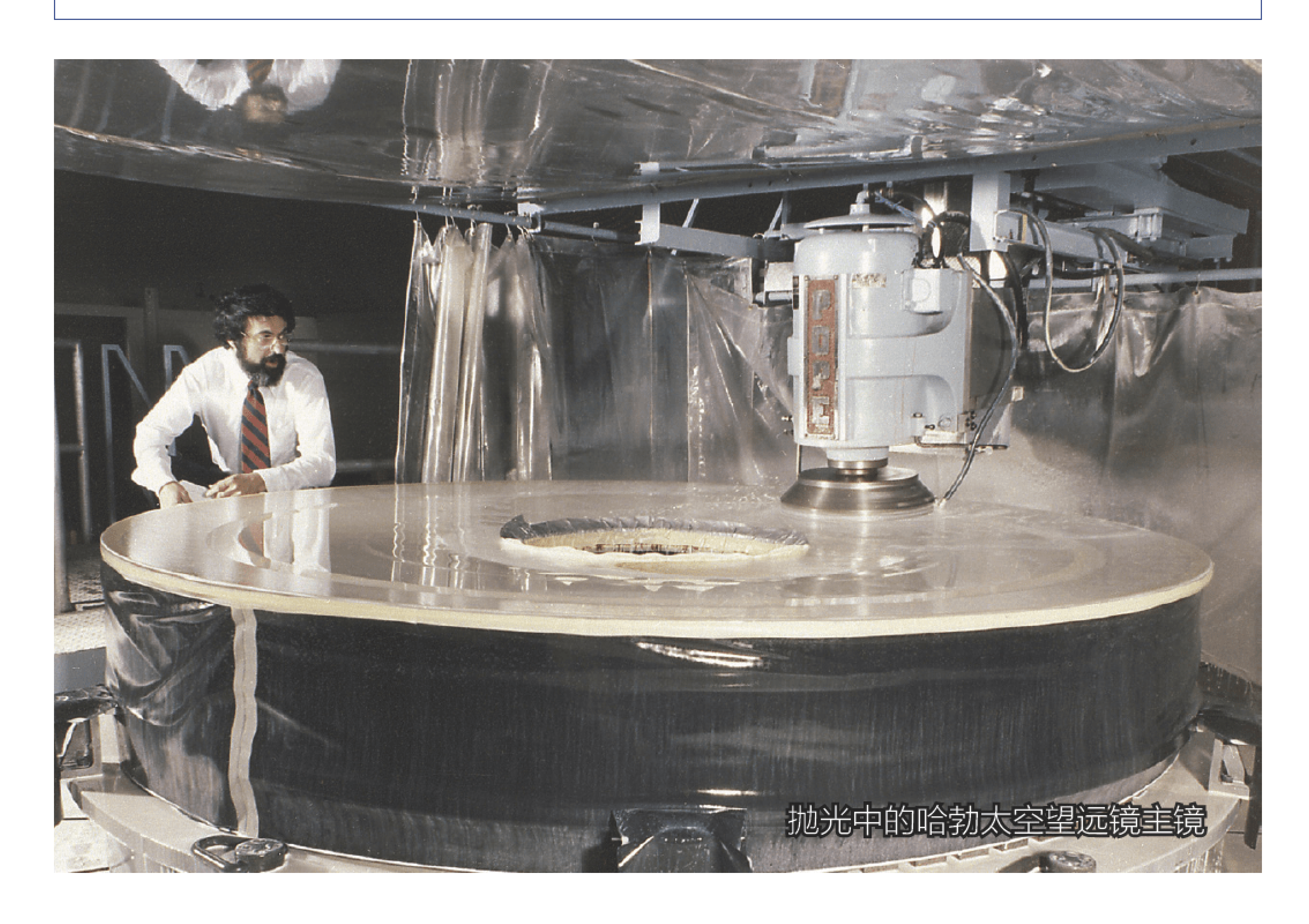
哈勃太空望远镜到目标天体的距离，测量精度是地面望远镜的 10 倍。

整个哈勃太空望远镜的设计从各方面来讲，都是相当先进的，其观测能力大大超过了地面所有的光学望远镜和已有的天基望远镜。据估计，哈勃太空望远镜能观测到 27 等星那样微弱亮度的恒星，这种恒星比地面上 5 米口径望远镜观察到的星光暗 50 倍。

1990 年 4 月 24 日，“发现”号航天飞机将哈勃太空望远镜发射升空，进入 610 千米高的地球轨道。经过地面测控与调整，它开始了太空观测任务。它的主要任务是观测宇宙大爆炸后 10 亿年内星系形成的整个过程，为科学家们提供有关黑洞、行星、恒星和星云的活动细节，以解答数不清的关于宇宙及天体的奥秘，如宇宙起源之谜、宇宙年龄之谜、神秘的黑洞之谜、类星体之谜和恒星演化之谜。哈勃太空望远镜在投入天文观测后，得天独厚，相继获得了一些重大发现，令科学家们激动不已。

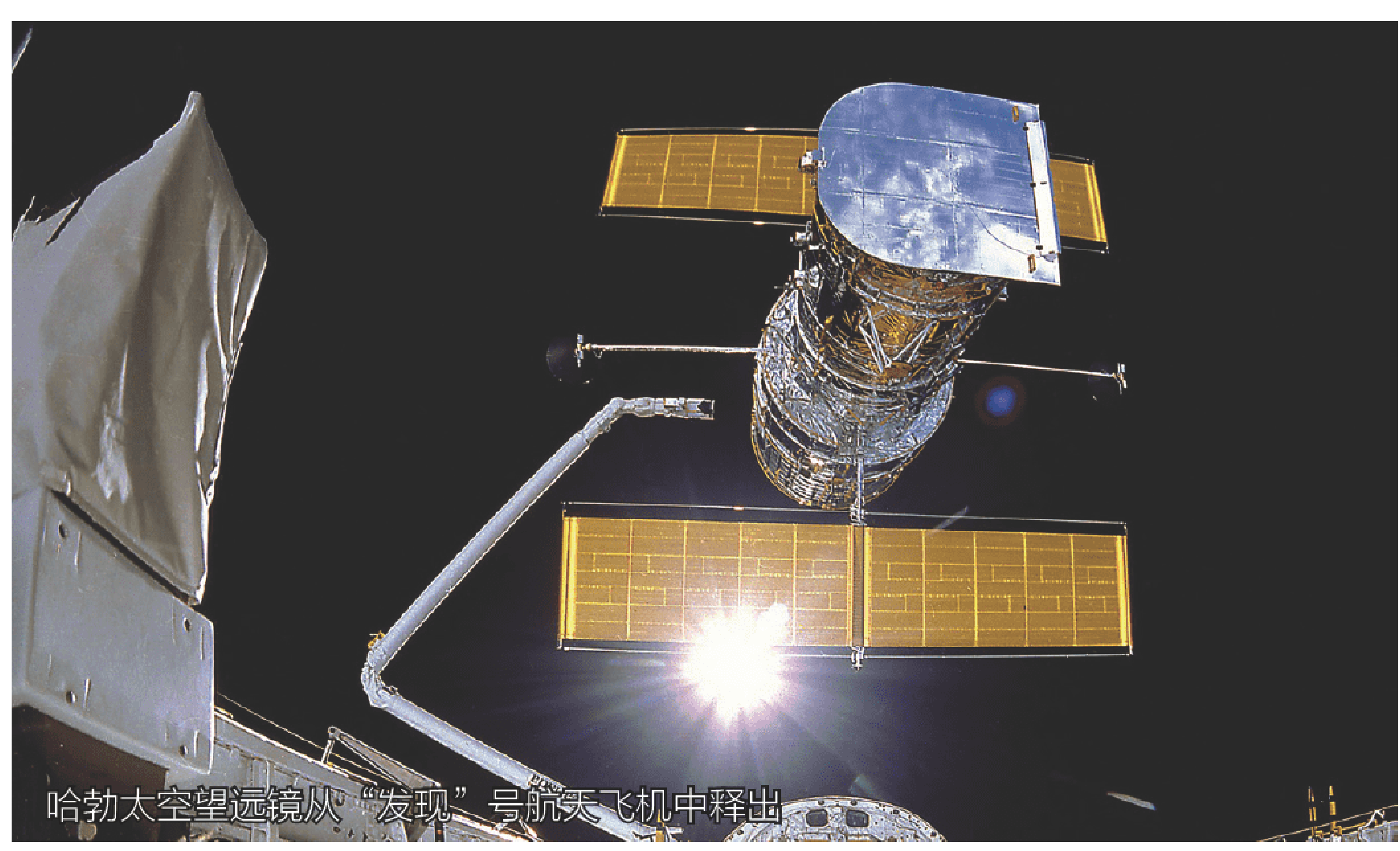
小贴士

2016 年 3 月 4 日，人类宇宙观测距离纪录再次被哈勃太空望远镜刷新，成功捕捉到了距离地球达 134 亿光年的 GN-z11 星系发出的微光。这个名为 GN-z11 的星系是一个异常明亮的“婴儿星系”，位于大熊星座方向。换句话说，人们现在观测到的是它在宇宙大爆炸后 4 亿年时的样子。



抛光中的哈勃太空望远镜主镜

携带哈勃太空望远镜进入轨道的“发现”号航天飞机升空

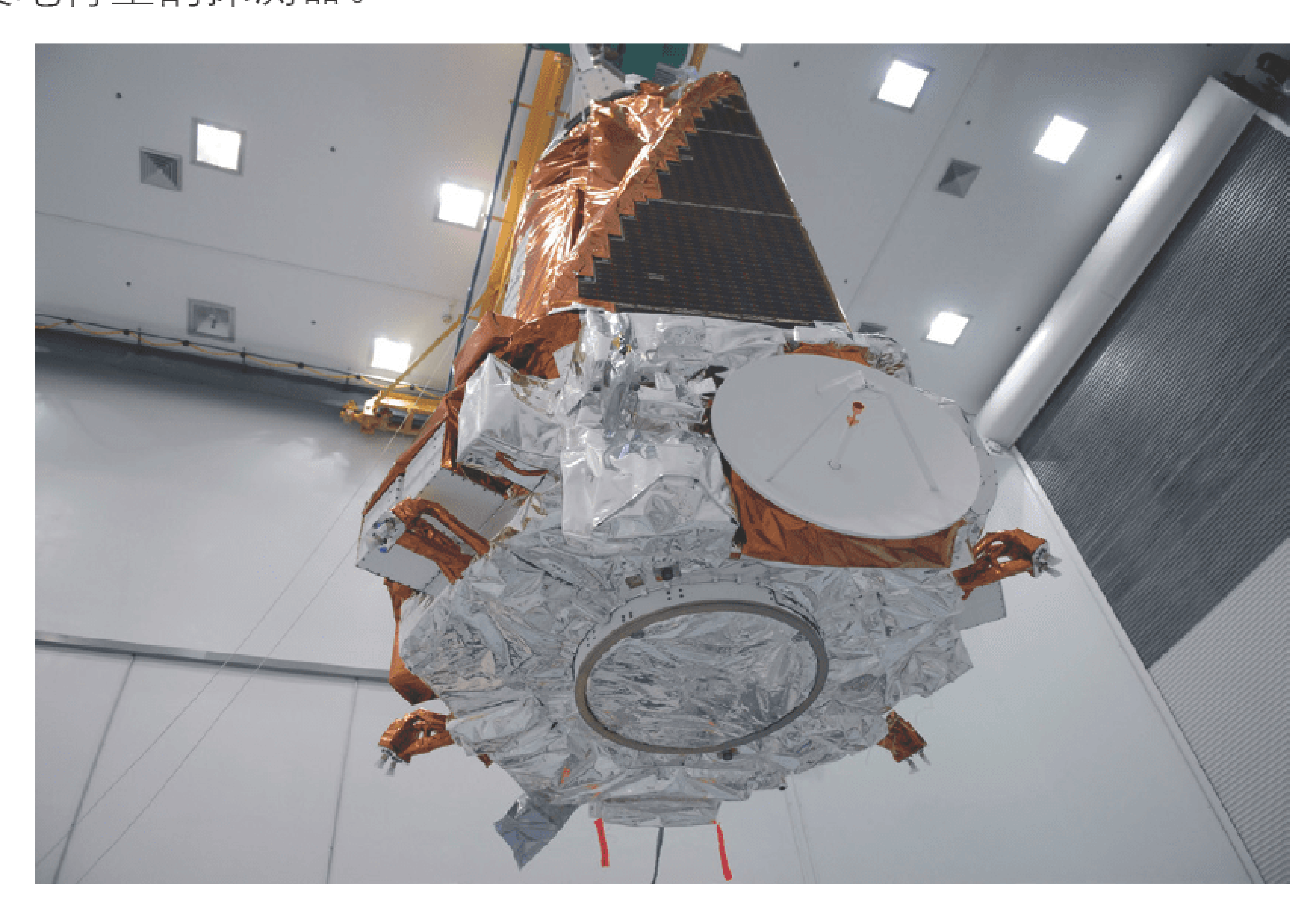

哈勃太空望远镜从“发现”号航天飞机中释出



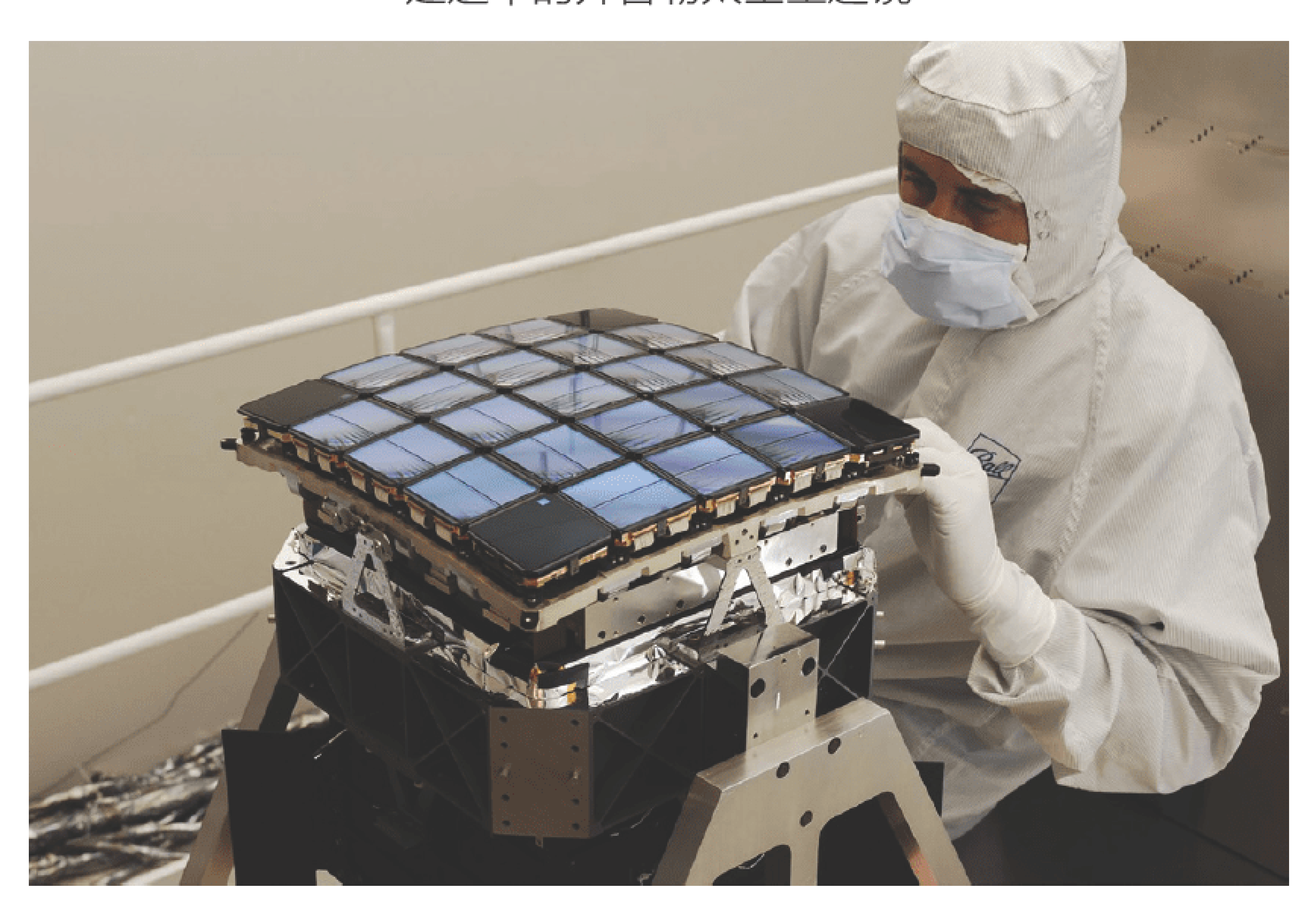


NO.65　开普勒太空望远镜的工作原理是什么?

开普勒太空望远镜（Kepler Mission）是世界上首个用于探测太阳系外类地行星的飞行器，于美国东部时间2009年3月6日22时49分57秒465毫秒（北京时间7日11时49分57秒465毫秒），从佛罗里达州卡纳维拉尔角空军基地17-B发射台发射升空，它是美国国家航空航天局（NASA）发射的首颗探测类地行星的探测器。



建造中的开普勒太空望远镜



开普勒太空望远镜的图像传感器阵列

NASA 计划对银河系内 10 万多颗恒星进行探测，希望搜寻到能够支持生命体存在的类地行星。开普勒太空望远镜的主要任务包括：测定在多样性光谱型恒星适宜居住区域内部或周围的陆地行星和大型行星数量；测定不同体积大小行星的分布，以及行星的半长轴；评估多恒星体系中行星的数量和行星的轨道分布状况；测定短周期巨行星的密度、质量、体积大小、反照率、半长轴；使用互补技术，测量每个光度角度识别发现的行星系统中额外的行星数量；探测具有行星系统的恒星的性质特征。

开普勒太空望远镜利用“凌日法”对行星进行间接探测，其探测行星的原理是：当恒星系统中的行星运行到开普勒与恒星之间时，由于行星的遮挡，开普勒光度计传感器接收到的恒星亮度会变弱。因此，地面科学家可以根据恒星亮度的这种周期性的微弱变化来推算出行星的大小和轨道周期等数据。开普勒能探测到的这种亮度微弱变化可以小到 1/100000 左右。这一技术方法已经被科学家采用了十余年，并帮助了天文学家发现了 300 多颗较大的行星。而开普勒将目标对准更小的行星，像地球一般大的宜居住行星，它们都围绕其母恒星运转。

开普勒太空望远镜观测的目标区域位于银河系中的天鹅座和天琴座一带，因为这个方向上的观测较少受太阳等天体影响，有利于持续观测。此外，这一区域内也存在较多的恒星及附属行星。

开普勒太空望远镜不在环绕地球的轨道上，而是在尾随地球的太阳轨道，所以不会被地球遮蔽且能持续地观测，光度计也不会受到来自地球的漫射光线影响。这样的轨道避免了重力摄动和在地球的轨道上固有扭矩，可以有一个更加稳定的观测平台。光度计指向天鹅座和天琴座所在的领域，远离了黄道平面，所以在绕行太阳的轨道上，阳光也不会渗漏入光度计内。天鹅座也不会被古柏带或小行星带的天体遮蔽，所以在观测上是一个很好的选择。这样选择的另一个好



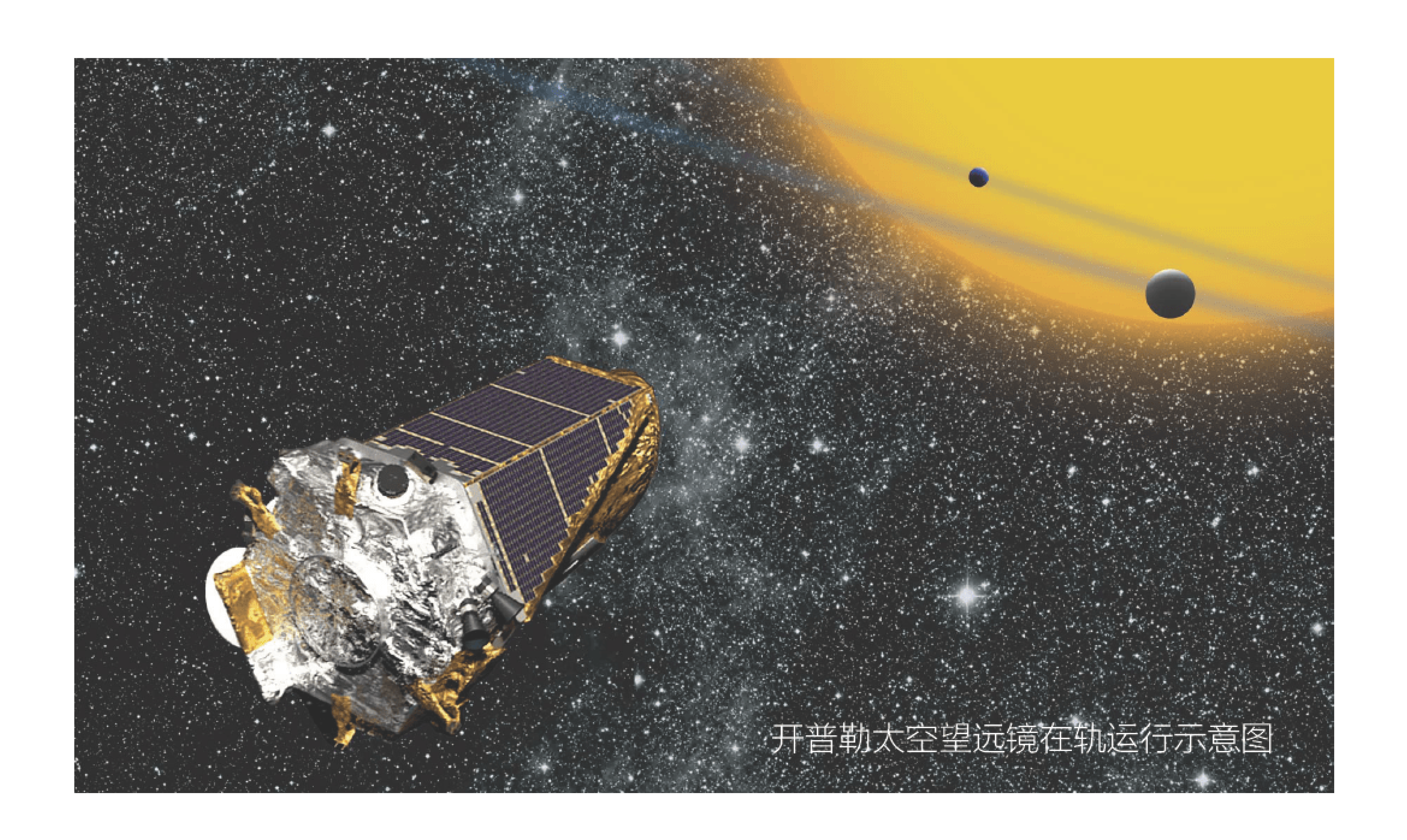
开普勒太空望远镜由运载火箭携带升空

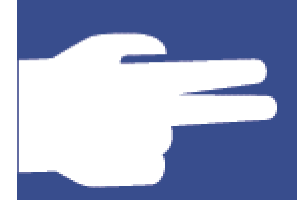


处是开普勒太空望远镜所指向的方向是太阳系绕着银河系运动的中心，因此，开普勒所观察到的恒星与银河中心的距离大致上与太阳系是相同的，并且也都靠近银河的盘面。

小贴士

2013 年 5 月，开普勒太空望远镜的反应轮发生重大故障，无法设定望远镜方向，正常的观测工作基本停止。在经过数个月的努力后，NASA 于 8 月 15 日宣布放弃修复。开普勒太空望远镜由此结束搜寻太阳系外类地行星的主要任务，但它仍可能被用于其他科研工作。


开普勒太空望远镜在轨运行示意图



NO.66　高超音速飞行器在未来战争中有何优势？

从广义上讲，高超音速飞行器包括目前已出现的高超音速无人机、高超音速导弹、空天飞机，以及未来可能出现的高超音速轰炸机等新型武器。

高超音速飞行器的种类

高超音速飞行器种类繁多，按动力种类，可将高超音速飞行器分为无动力滑翔飞行器、吸气式动力巡航飞行器和火箭动力弹道飞行器三类。火箭动

力技术相对成熟，吸气式动力技术和弹道滑翔式技术成熟度尚低，是各国发展的重点。

采用火箭动力的主要是弹道导弹，按发射方式分为地面发射和空中发射。地面发射具备很强的突防能力，但存在一定弱点，发射时红外特征持续时间较长，容易被预警卫星发现。

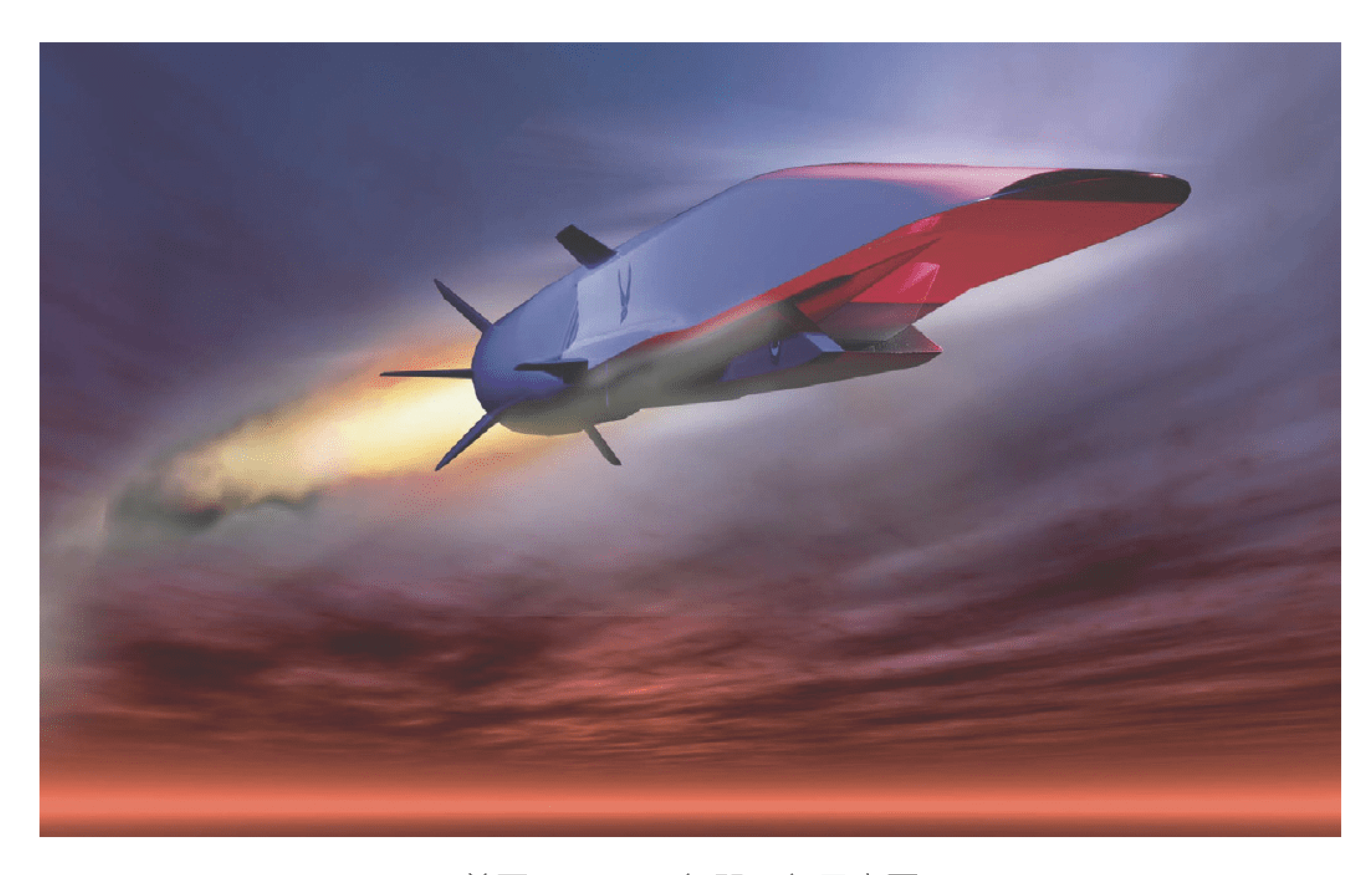
采用吸气式冲压动力的主要是新型高超音速巡航飞行器，能以大于 5 马赫的速度巡航，远大于目前世界上现役飞行器的巡航速度，能极大地缩短目标的反应时间。对于发现的瞬时可疑目标、高价值目标，能做到在其完成部署与做好攻击准备前先敌摧毁。高超音速飞行器能威胁地面的固定设施及移动中的目标。

弹道滑翔式的通用航空飞行器，一般采用地面垂直发射方式获得初始动能，然后以弹道加末端滑翔方式飞行并实施打击。

高超音速飞行器的优势

1）速度优势

高超音速巡航飞行器在未来实战中的应用，很可能改变现代战争的模式。包括弹道导弹和空天飞行器在内的飞行器，在未来具备远程战略与战术打击能力后，能使部队在缺少前方存在的情况下，在 1 ～ 2 小时内完成对敌目标的遏制与摧毁，将成为可替代核武器完成进攻与防御的重要一环。



美国 X-51A 飞行器飞行示意图



美军多次进行的 X-51A 飞行器试验，基本上以轰炸机为发射载体。从战术角度考虑，轰炸机作为发射平台具备了长滞空时间的能力，在敌方攻击范围外长时间巡航待机，其优势在于能为高超音速飞行器的快速打击创造有利条件。

2）高度优势

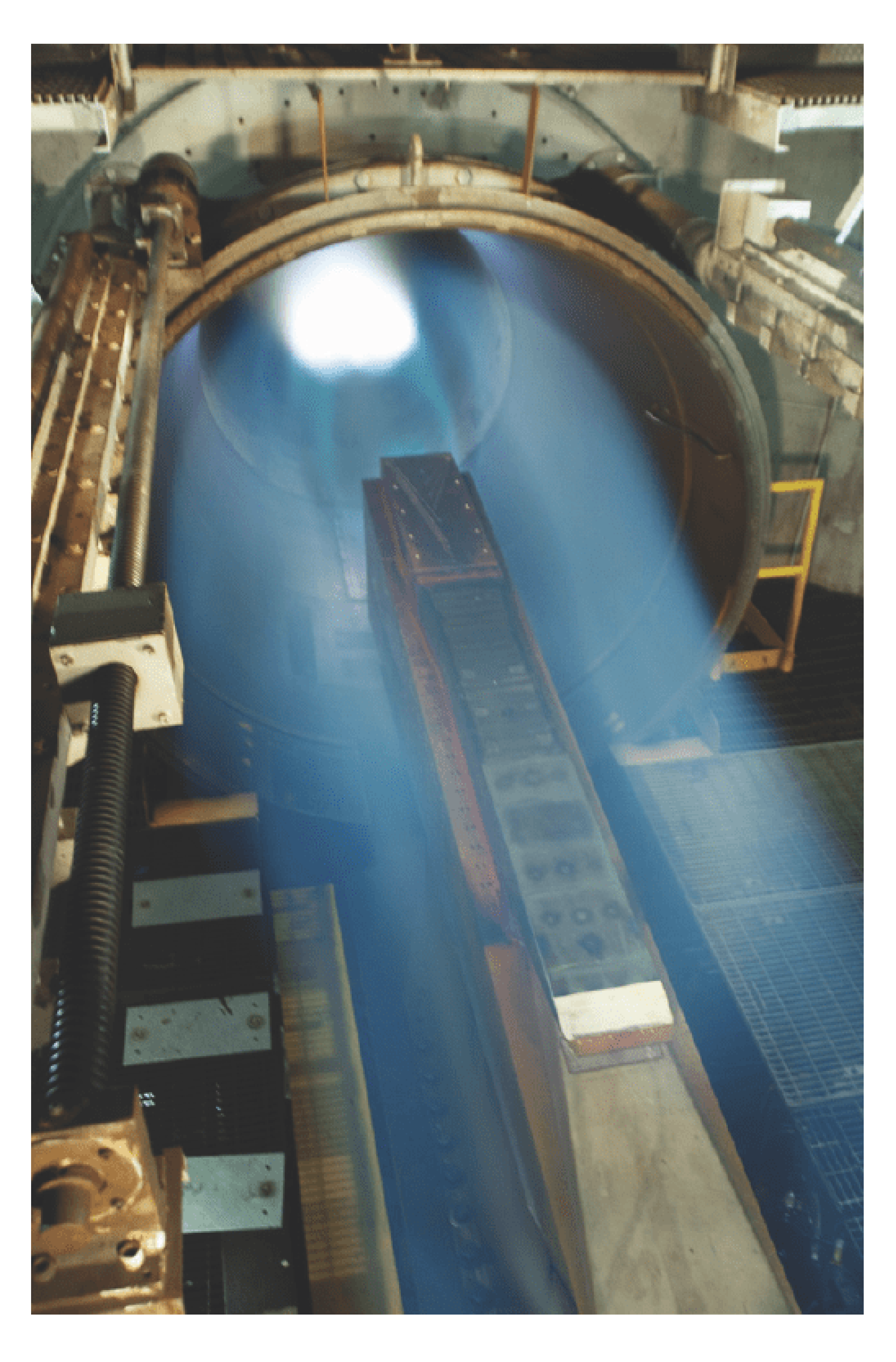
夺取制空权、保持空中优势一直是空战的首要目标，高度优势可看作主导空战的重要因素。高超音速飞行器在飞行高度上突破了现有战斗机的飞行范围，飞行高度在 30 千米以上，适合在大气层边缘的近地空间作高超音速巡航。飞行器投放的炸弹或导弹具有极大的动能，体积很小的炸弹都能造成巨大的杀伤力，对地面及海上目标的威胁很大。

3）突防能力优势

随着反隐身技术的不断提高，战斗机突防时的战场生存力会逐渐削弱，高空与超高速的结合能有效避免隐身手段的不足，有效缩短敌方的发现距离，使其不能迅速作出拦截部署。

高超音速巡航飞行器能有效进行高空高速突防和退出，对敌方直接打击或作为远距离发射平台，大大提高了作战效能。同时，能在敌方的防区外发射或从远离目标的空域发射，迅速击中目标。远程高超音速飞行器能有效提高战场生存能力，使敌方的防空系统难以拦截，并能对重要目标进行快速而迅猛的打击。如高超音速巡航飞行器以 5 马赫以上的速度在 30 千米以上突防，这就要求敌方的拦截防御武器至少具备 7 马赫以上的飞行能力，现有的防空系统无法做到有效拦截。

另外，由于高超音速巡航飞行器在巡航段的飞行时间长，机动动作少，被雷达探测并锁定的概率相对较大，若采用一些辅助措施（飞行性能与隐身特性一体化设计、红外隐身、雷达隐身、有源电子干扰或在必要时投放干扰诱饵）用于突防，可大幅提升高超音速飞行器的战场生存能力。



X-51A 飞行器的发动机进行地面模拟测试（5 马赫飞行环境）

以 B-52 轰炸机为发射载体的 X-51A 飞行器



NO.67 高超音速飞行需要克服哪些技术难题?

从 20 世纪 80 年代开始，美国开展了 NASP 计划、HyTech 计划（后来演变为 HySet 项目）、HyFly 项目、X-51A 项目、FALCON 项目等一系列直接或间接发展高超音速飞行器技术的计划或项目。不过，这些计划或项目大多数没有完全成功。可以说，美国在高超音速飞行的多个项目上都遇到了严重的技术阻碍。那么，高超音速飞行需要攻克哪些关键技术呢？

（1）支持高超音速飞行的动力技术。6 马赫以上的高超音速飞行，常规的吸气式动力装置已经难以支持，X-51A 和 HyFly 项目的动力装置都采用了冲压发动机。与火箭发动机相比，冲压发动机具有效率更高、航程更远，可携载荷更重等优势，主要是由于无须携带占据很大发射重量的燃料和氧化剂。但冲压发动机技术难度很大，尤其是维持高超音速条件下的稳定燃烧十分困难，美国已开展了多年的冲压发动机技术攻关工作并取得了大量成果，但在高超音速飞行中仍会出现许多问题，如 HyFly 项目。对于要发展由机场起降、


车间中的 X-51A 飞行器

可重复使用的高超音速飞行器，如 HTV-3，则需要发展技术更为复杂的组合发动机，如涡轮基组合循环推进系统，实现大速度跨度（0～6 马赫以上）飞行，但由于技术难度和经费需求都很大，目前美国尚处于探索阶段。

（2）先进乘波体气动布局设计技术。乘波体是一种全新的设计理念，其主要利用超声速飞行时前缘附体激波，通过激波压力来产生升力进行飞行，因此乘波体气动布局非常关键，其外形决定了激波模式，激波模式与航程密切相关。X-51A 就采用了乘波体设计技术，这种设计技术目前仍然需要飞行试验验证以进一步成熟。

（3）高超音速飞行器综合设计与精确控制技术。当飞行器以高超音速飞行时，会产生强烈的激波，激波与附面层之间产生相互干扰，在高超音速气流驻点附近产生极高的温度，能使附近的气体分解和电离，形成相当复杂的混合气体，使得高超音速气流的研究成为非常复杂的难题。这不仅对飞行器平台的综合设计提出了挑战，也给高超音速条件下的精确控制带来了困难，X-51A 最近一次验证飞行失败就是这个原因造成的。

（4）防热结构与材料技术。高超音速飞行还有一个巨大的难题需要面对，就是高速条件下产生的“热问题”。以高超音速在入大气层内飞行时，



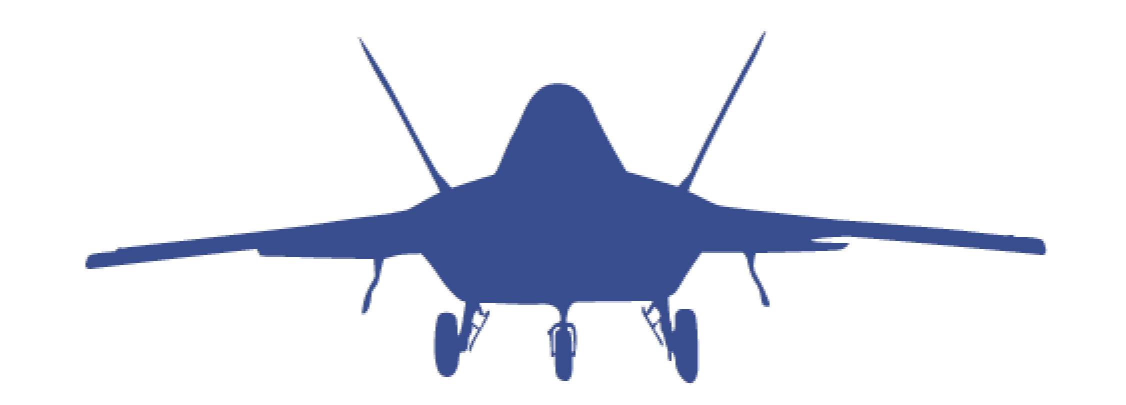
美国 HTV-2 高超音速飞行器飞行示意图

气动加热会使其表面达到极高的温度，当飞行器在 6 马赫以上飞行时，表面多个部件温度将达到 500℃以上，对于结构和材料的热防护提出了严峻挑战，X-51A 首次试飞失败，喷管与机体连接处密封失效，气动热就是重要的原因之一。

除此之外，高超音速飞行器未来要形成作战能力，还要在全系统发挥作战效能等问题上解决一系列问题，包括超高声速条件下的武器末制导技术等。

虽然高超音速飞行项目的技术难度非常大，但由于潜在的巨大军事效益，此项目一定还会继续发展。预计美国类似 X-51A 的中等射程高超音速巡航导弹要到 2020 年才能投入使用，射程更远的空基或地 / 海基高超音速巡航导弹要到 2020 年后，至于机场起降、可重复使用的高超音速飞行器，时间则更为遥远。





空战实战篇



飞机使人类进入航空时代，而火箭使人类进入航天时代。二战后，美、苏两国各自从德国获得了一批火箭专家，开启了本国的航天事业。自此，人类的探索目光从大气层内瞄向了外太空。冷战期间，美、苏两国为了争夺航天实力的最高地位而展开了激烈的太空竞赛。时至今日，虽然冷战早已结束，但是世界各国仍然没有停止对太空的探索，而太空军事化的进程也越来越快。与两次世界大战时的空战相比，未来人类在外太空展开的战斗将发生巨大的变化。

 NO.68 二战时期德国王牌飞行员数量远超其他国家的原因是什么？

“王牌飞行员”（Flying ACE）这个称号最早出现在一战，一般是指击落敌机超过 5 架的飞行员。当法国飞行员阿道夫 • 佩古德成为首个击落 5 架德军飞机的飞行员之后，法国报纸称他为“王牌”。“王牌”一词在一战之前的法国就是一个流行词，通常用来形容运动明星，比如，足球明星或者自行车明星。

德国以蓝马克斯勋章表彰击落 8 架敌机的飞行员，德国并不使用“王牌”一词，而是使用“大炮”来称呼击落 10 架以上敌机的飞行员，并公开他们的姓名和战绩以鼓励民众。随着战争的进行，蓝马克斯勋章的颁发标准逐渐提高。一战中德国头号王牌飞行员是曼弗雷德 • 冯 • 里希特霍芬（Manfred von Richthofen），绰号“红男爵”，击落飞机 80 架。


曼弗雷德 • 冯 • 里希特霍芬

1914 年至 1916 年，英国并没有集中记录空战战绩的系统，事实上一直到战争结束，战绩也只是在中队级别进行记录。尽管有一些飞行员因为媒体报道而出名，但是英军飞行员的个人数据是没有公开官方记录的。不过当飞行员获得击落 5 架敌机的战绩时，他将自动获得一枚军人十字勋章。

对于战绩的确认，各国也有不同的计算方法。在德国空军中，只有“确认战绩”才会记录，“确认战绩”是通过检验敌机（或残骸）或敌飞行员（或遗体），评估确定敌机被击毁或俘获的战绩。比如，曼弗雷德 • 冯 • 里希特霍芬击落阿尔伯特 • 巴尔的战绩就是由英国空军确认巴尔死亡才被记录，而巴尔的 S.E.5 座机的残骸从未被辨认出，而里希特霍芬自己声称击落的是一架索普维斯三翼飞机。因为大部分空战都发生在德军战线之后，所以德国空军的计算方法只对德国空军行之有效。



德国空军的计算方法的另一特点就是当多架飞机同时攻击一架敌机并击落时，只有一名飞行员取得战绩（通常为编队长机），所以往往德国的王牌飞行员记录高得惊人。而大部分其他国家则使用法国空军的计算方法，即参加战斗的所有飞行员和炮手都取得战绩。而英国空军采用了独占和分享战绩共存的方法。在英国陆军航空队、英国海军航空兵和英国空军中，每次战斗过后，参战飞行员将提交一份交战报告，由中队指挥官审查之后，这些报告将提交到大队指挥部，大队指挥官对报告审查后，决定哪些战绩将被记录和哪些战绩将不被记录，最后这些报告将提交给旅司令部。



埃里希 • 哈特曼

世界上击落飞机最多的几个王牌飞行员均出现在二战时的德国，德国个人战绩百架以上者就有 107 人，王牌飞行员总人数超过 3000 人，其中排名第一的埃里希 • 哈特曼（Erich Hartmann）击落敌机 352 架。

相对而言，同盟国的王牌飞行员要逊色得多（不过同盟国飞行员战绩较不出色是有原因的，以美国为例，美军飞行员只要执行完一定数量的任务就会被调回国内当教官，所以相较于从开战一直打到战争结束的德军飞行员，盟军飞行员的战绩要逊色很多），英国头号王牌飞行员马默杜克 • 帕特尔（Marmaduke Pattle）少校的战绩是 40 架，苏联王牌飞行员伊万 • 阔日杜布（Ivan Kozhedub）的战绩是 62 架。而太平洋战线方面，旧日本海军的岩本彻三的击坠数是 94 架，坂井三郎的击坠数是 64 架（岩本及坂井的坐机同为“零”式舰载战斗机）。



马默杜克 • 帕特尔



伊万·阔日杜布

小贴士

二战后，随着战争的减少，王牌飞行员也越来越少。二战中，708位美军飞行员达到王牌飞行员的标准，在越南战争中只有区区3名，以后再也没有出现过一名王牌飞行员。

NO.69 二战时期机载武器较多的轰炸机却无法对抗武器单一的战斗机的原因是什么？

20世纪30年代，飞机的发展进入了突飞猛进阶段，尤其是轰炸机的飞行性能上，不少轰炸机都自豪地宣称其飞行性能已经不逊于战斗机。这就催生了一种论调，那就是“战斗机无用论”。这个论调认为既然轰炸机已经达到战斗机的飞行性能，那么轰炸机也可以随时突入敌人控制区轰炸，敌军战斗机难以拦截不说，密集的轰炸机自卫火力也足以保证轰炸机的安全。这样一来未来的空战将是轰炸机的天下，对制空权的争夺已经毫无意义，那么战斗机也就可以扔进垃圾桶了。

二战爆发后，“战斗机无用论”很快就被证实是一种错误的论调。尽管当时轰炸机的机载武器数量远多于战斗机，却无法在正面交锋中占到便宜。究其原因，主要是由轰炸机与战斗机不同的作战目的和作战方式决定的。

二战早期，战斗机和轰炸机的区分并不是很明显，战斗机有时候也会携带一些小型的炸弹，实施对地面轰炸任务。而此时的轰炸机由于体形不大，所以在进行地面轰炸的同时也会兼职参与一些空中格斗。比如，早期的德国



Ju 87“斯图卡”俯冲轰炸机，在炸弹投尽之后也会顺便用机枪扫射地面士兵。

到了二战中后期，战斗机和轰炸机的角色区别开始越来越明显。为了提高作战效率，战斗机飞行速度越来越快，越来越灵活，比如，德国著名的 Me 109 战斗机，其长度为 9.07 米，翼展为 9.92 米，最大飞行速度为 710 千米 / 时；而轰炸机为了提高载弹量，体形越来越庞大，比如，美国 B-29“超级空中堡垒”轰炸机，其长度已经达到 30.18 米，翼展达到 43.05 米，最大飞行速度为 574 千米 / 时。这两种机型在空中相遇时，其格斗性能是无法相提并论的，虽然二战后期轰炸机装备的炮塔越来越多，但是由于轰炸机炮塔上的机枪射程不如战斗机的机炮，且移动缓慢，而战斗机飞行速度越来越快、体形越来越小巧，单架轰炸机根本无法与灵活的战斗机对抗。



德国 Me 109 战斗机



美国 B-29“超级空中堡垒”轰炸机

二战中后期，由于盟军战斗机航程不足，无法保护深入欧洲大陆进行轰炸的盟军轰炸机，使得盟军轰炸机一时间损失惨重。1943 年 10 月 14 日下午两点左右的德国上空，美国第八航空队第一轰炸师约 150 架 B-17“空中堡垒”轰炸机，突然遭遇德国空军数百架战斗机围攻。此时，为轰炸机编队护航的 P-47“雷霆”战斗机由于航程有限，已经返航，庞大笨重的 B-17 轰炸机成了砧板上的鱼肉。这场悲剧性的空战中，美军损失了 77 架 B-17 轰炸机，战损率高达 26%，另有多架重伤返回的轰炸机基本报废，能够投入使用的仅剩下 62 架。此外，阵亡和失踪的飞行员超过 600 人。即使凭借美国的强大军工产能和优秀的飞行员培训体系，这样骇人的高消耗也是不可持续的。



美国 P-47“雷霆”战斗机

整个二战期间，轰炸德国的美英空军也付出了高昂代价。以美国第八航空队为例：到战争结束时，2051 名飞行员有 63% 战死、被俘或失踪，另有 10% 受伤——这一损失比例甚至高于在太平洋战争中血战的美国海军陆战队。

盟军轰炸机损失惨重有两个原因，其中之一是德国空军战斗机飞行员成功在作战中摸索出了攻击“刺猬”的战术。在对德战略轰炸初期，德国战斗机使用传统尾追战术来攻击盟军重轰，没有取得令人满意的结果。在尾追攻击中，虽然相对速度较低，战斗机飞行员有充足时间瞄准，但却要面对轰炸机尾部、背部、腰部、腹部多挺机枪的集火攻击。



经过战术研究后，德国空军发展出了迎头攻击战术。这种战术面对的防御机枪数量大幅降低，虽然会因相对速度过高而使飞行员难以瞄准，导致命中率低下，但此时德国战斗机已经普遍装备大威力 20 毫米 MG FF 机炮，平均命中 5 发就能击落一架轰炸机。后来又升级了射程更远的 20 毫米 MG 151 机炮以及 30 毫米 MK 108 机炮，进一步提高了击坠效率。

第二个原因是二战时期的轰炸机需要人力来操纵自卫机枪，缺乏精确射击手段，基本不可能有效击落以高速飞行和大偏差角逼近的敌方战斗机。所以轰炸机需要依托箱形编队组织起严密的防护火力网才能有效对抗德国战斗机，这基本上是守株待兔的射击方法。如果当时的轰炸机装备了战后才出现的雷达制导防御机枪或机炮，那么二战轰炸机与战斗机之间的较量将会是另一种局面。



NO.70 不列颠之战对于二战进程有何重要影响?

不列颠之战（Battle of Britain），是二战期间 1940 年至 1941 年纳粹德国对英国发动的大规模空战。这次战争是二战中规模最大的空战，除了英、德两国之外，包括同属英联邦的新西兰、加拿大、澳大利亚、南非、爱尔兰、牙买加、斯里兰卡、南罗德西亚等国的空勤人员也投入英军；许多被德国占领的国家的流亡政府，包括波兰、比利时、捷克斯洛伐克、法国等撤至英国的空军，也加入了保卫英国的行列；当时属于中立的美国也有志愿者组成了“飞鹰中队”（Eagle Squadrons）与英国并肩作战。同属轴心国的意大利，则派出“空军军团”与德国空军一起战斗。

战役背景

德国打败法国后，便拟订了入侵英国的“海狮计划”。为保障渡海登陆作战，德军企图首先夺取制空权，以摧毁英国的防御工事，钳制并消灭英国空军。于是德国空军元帅戈林集结了德国空军主力 3 个航空队和 2669 架飞机，战斗机和轰炸机各占一半，而英国只有 700 架战斗机和 500 架轰炸机，德国占有 2：1 的优势。

早在 1940 年 5 月，英国就已预见德国空军会对英国本土进行大规模轰炸，所以在 5 月 19 日，英军参谋长联席会议提出了在法国退出战争的情况下的防御报告，要求切实加强各项防御措施，尤其是防空措施。该报告于 5

月 27 日获得战时内阁的批准，并立即开始了必要准备：首先战时内阁组建了飞机制造部，由比弗・布鲁克担任部长，大力加强飞机制造，使飞机月产量由 700 架迅速增加到 8 月份的 1600 架，其中战斗机为 470 架；其次在全国范围里统一调整部署防空力量，重点加强伦敦地区的防空；再次空军部成立作战训练部队，建立了多个训练学校，加紧培训空勤、地勤人员，这样每月可以有 200 名新飞行员补充部队，还动员英联邦成员国代为培训空勤人员，以组建新的作战部队。

1940 年 7 月，法兰西战役结束，法国、荷兰、比利时、卢森堡、丹麦、挪威等国全都被德国征服，整个西欧只剩下英国还在抵抗。由于德国战前储备的原油不充足以及需要筹备之后的对苏作战，希特勒认为不应在西线消耗太多力量，于是向英国伸出了橄榄枝，但最后遭到英国首相温斯顿・丘吉尔的拒绝，因此德国制订了针对英国的“海狮计划”，务求对英国进行登陆作战。作战拟订以步兵登陆英国南部并深入及占领伦敦，切断其与外部的联系，从而一举占领英国。但此次作战需要首先歼灭英国的空中力量，以保障登陆行动的顺利。因此，赫尔曼・戈林便受命歼灭英国的空军。

战役经过

1）第一阶段

从 1940 年 7 月 10 日至 8 月 23 日，德国空军主要攻击英吉利海峡的护航船队、袭击南部港口，企图诱歼大量英国战斗机，为实施“海狮”登陆行动准备。英国空军上将休・道丁决定采用从各个方向截击的作战方式，综合使用战斗机、雷达和高射炮。



英国空军上将休・道丁

战至 1940 年 8 月 12 日，英军以损失 150 架飞机的代价，使德国空军损失 286 架飞机。接着，德国空军在“鹰日”（8 月 15 日）以第 2 航空队和第 3 航空队在大量飞机分 4 批企图突破东南部防御，另以第 5 航空队对英国北部实施突袭。道丁预料到德军的行动，指挥北部和南部的战斗机适时迎击，击毁 75 架德国飞机。至此德国空军仍不罢休。



1940 年 8 月 16 日，德军再次大举出动，但几乎没有取得什么战果。1940 年 8 月 17 日，德军只有零星小机群进行了骚扰性的空袭。1940 年 8 月 18 日，德军发动了强劲攻势，遭到英军顽强抗击，被击落 71 架，而英军仅损失 27 架。

1940 年 8 月 19 日，戈林在卡琳霍尔庄园官邸召开参谋长会议，总结前一阶段作战情况，决定接下来集中全力攻击英国空军主力第 11 大队的基地，并停止出动在战斗中损失惨重的 Ju 87 俯冲轰炸机。

1940 年 8 月 19 日至 23 日，由于天气原因，空战暂停了 5 天。不列颠之战的第一阶段至此结束，在这一阶段，德军付出了被击落 367 架的巨大代价，使英军 12 个机场和 7 个飞机制造厂遭到不同程度破坏，6 个雷达站一度失去作用，1 个指挥中心被炸，1 座弹药库和 10 座储油库被毁，但由于德军选择目标不集中，一定程度上分散了兵力，降低了突击效果，再加上英军的顽强抗击，没能达到预期目的。英军在这一阶段损失 183 架飞机。

2）第二阶段

从 8 月 24 日至 9 月 6 日，不列颠之战进入了关键的第二阶段。德国空军企图打开通往伦敦的空中通道，以消灭剩余的英国战斗机并摧毁其地面设施和飞机制造厂，随后对伦敦实施集中轰炸。道丁命令派遣尽可能多的战斗机去保护南部的飞机制造厂，并对进攻地面设施的敌机实施截击。

德军根据戈林的决定，对英军第 11 大队的主要基地和英格兰南部的飞机制造厂进行了大规模空袭，在这两周时间里，德军每天出动飞机都在 1000 架次以上，其中 8 月 30 日和 8 月 31 日两天，更是达到了日均 1600 架次。在这种攻势之下，英国空军伤亡极大，开始出现人员紧缺的困境。尽管如此，英军依然在顽强苦战，有些飞行员一天出动几次，仍保持着高昂的士气。

在此阶段，英军有 195 架飞机被击落，171 架被重创，而同一时间里英国生产出的新飞机加上修复的飞机总数只有 269 架，英国空军已经是元气大伤。更严重的是英国南部最重要的 5 个机场都遭到严重破坏，在南部地区和伦敦附近的 7 个指挥中心有 6 个被摧毁。英国空军的指挥和通信系统已经到了崩溃的边缘，照这样发展下去，英国空军很快就会失去抵抗的力量。而德军在数量上的优势开始逐步发挥出来，在这两周里，德军损失了 214 架战斗机和 138 架轰炸机，但仍有足够的力量继续发动攻势。

3）第三阶段

由于前两个阶段的战斗极大地消耗了德军的后勤供给，因此德国高层被迫将战略目标从攻击军事目标压倒英国空军转为攻击城区并削弱英国国力，

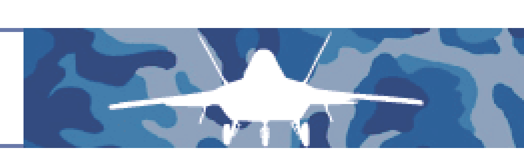
入侵英国的“海狮计划”被无限期搁置。德军改变了战术，对伦敦实施大规模空袭，不列颠之战也就进入了第三阶段。

8 月 24 日，12 架迷航的德军轰炸机飞临伦敦，在市中心投下了炸弹。8 月 25 日，根据丘吉尔首相的指示，英国空军出动 81 架轰炸机空袭柏林作为报复。尽管空袭造成的物质损失微乎其微，但在心理上极大地震撼了德国。8 月 28 日夜和 8 月 31 日夜，英军又两次空袭柏林。希特勒被激怒了，叫嚣要彻底毁灭伦敦。9 月 3 日，戈林召开了参谋长会议，决定从 9 月 7 日起攻击重点转为伦敦。9 月 4 日，希特勒在演讲中声称将以夜袭来回报夜袭，英国人投下 1000 千克炸弹，德国空军将以 10 倍、100 倍甚至 1000 倍的炸弹去回报。

实际上，德军对伦敦的空袭 8 月底就已经开始。9 月 6 日晚，德军出动 68 架轰炸机首次有计划地轰炸伦敦。9 月 7 日，德军对伦敦的大规模空袭开始，黄昏时分，德国空军第 2 航空队 625 架轰炸机和 648 架战斗机飞越海峡，飞向伦敦。英军没料到德军会空袭伦敦，起飞拦截的战斗机扑了空，德军飞机向伦敦投下了 300 吨炸弹和燃烧弹。入夜后，又有 250 架德机来袭，伦敦没有夜航战斗机，夜间防空只能依靠高射炮和探照灯，空袭从晚上 8 时一直持续到清晨，伦敦有 1300 多处起火，很多街区沦为一片火海。在当晚的空袭中，伦敦市民死 300 余人，伤 1500 余人。

从 9 月 7 日起，一连 7 天，德军对伦敦不分白天黑夜实施了大规模空袭，使伦敦蒙受了巨大的人员财产损失。不过，英国空军也得到了宝贵的喘息之机，迅速恢复战斗力。此外，英国空军指挥序列也有了变动，战斗机司令部司令道丁和第 11 大队大队长派克主张以中队为单位的小编队逐次投入战斗，而第 12 大队大队长马洛里则主张以 3 ～ 7 个中队组成大编队迎战。经过一段时间的实战检验，英国空军肯定了大编队作战，以空军副参谋长斯坦莫尔上将接替道丁，第 12 大队大队长马洛里接替派克，分别担任战斗机司令部司令和第 11 大队大队长。

9 月 15 日，经过 8 天的调整和补充，英国空军先后出动了 19 个中队 300 余架战斗机，迎战前往伦敦的德军 200 架轰炸机和 600 架战斗机组成的大机群，激烈的空战持续了整整一天，在英军英勇抗击下，很多德机漫无目的投下炸弹，匆匆返航。全天有 56 架德机被击落机，另有 12 架在返航和着陆途中伤重坠毁。英军在空战中损失 20 架“飓风”和 6 架“喷火”战斗机，还有 7 架伤重报废。丘吉尔首相亲临第 11 大队的指挥中心督战，他将这天




英军士兵站在屋顶观察德国飞机

称为世界空战史上前所未有的、最为激烈的一天。战后，英国就将 9 月 15 日定为不列颠空战日，以纪念这一辉煌胜利。

9 月 16 日和 17 日，英国空军挟胜利余威出动轰炸机对德军集结在沿海的用于登陆的船只和部队进行了猛烈攻击，击沉击伤近百艘船只，并给德军造成了重大的人员和物资损失，迫使希特勒于 9 月 18 日下令停止在沿海集结船只。

9 月 16 日至 19 日，由于天气不佳，德军仅进行小规模空袭，战果很小。

为减少飞机损失，戈林下令从 10 月 1 日起对伦敦的空袭从白天改为夜间，并鉴于英军战斗机注重攻击轰炸机，忽视战斗机的特点，白天由 Bf 109 加挂炸弹进行偷袭。一开始果然奏效，加挂炸弹的 Bf 109 毫无阻拦，顺利到达目标上空，轰炸连连得手。英军随即吸取教训，对德军任何飞机都进行拦截，由于 Bf 109 加挂炸弹后，非常笨重，不堪一击，损失极大，德军只好终止这一战术。

10 月 12 日，希特勒决定将“海狮计划”推迟到 1941 年春，实际上放弃了在英国登陆的计划，所谓推迟仅仅是遮人耳目的幌子，因为德军统帅部早就决定于 1941 年夏入侵苏联，自然不可能再进攻英国了。



伦敦消防员正在扑灭轰炸引发的大火

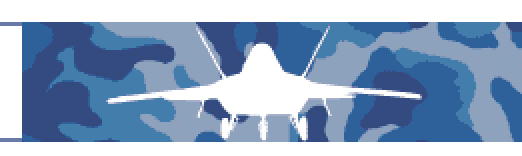
4）第四阶段

德军并不甘心这样的失败，仍继续对伦敦并扩大到考文垂、伯明翰、利物浦、南安普敦等城市实施夜间空袭，不列颠战役进入了第四个阶段，在这一阶段中，德军空袭的目的不再是消灭英国空军，而是对英国工业城市进行空袭，以削弱英国的军事工业，并制造进攻英国的假象，一方面可以牵制英军的大量海陆空军于本土，另一方面还可掩护为进攻苏联而进行的准备。

1940 年年底，由于英军战斗机、高射炮等部队的英勇抗击，德军损失越来越大，为减少飞机损失，德军空袭逐渐由白昼转为夜间，而且规模和强度也逐渐减小，500 架次以上的规模屈指可数。因为主要采取夜间面积的战术，除了破坏城市建筑，屠杀平民，制造恐怖气氛外，军事上的作用很小。

1941 年 3 月起，随着天气的好转，德军的空袭也逐渐加强，这时德军发动空中攻势目的只是为了制造进攻英国的假象，掩盖即将开始对苏联的作战。

5 月 10 日晚，是德国空军主力撤往苏联战场之前对伦敦进行的最后一次大规模空袭。当晚德军出动 500 余架次，对伦敦进行狂轰滥炸，伦敦平民有 1436 人被炸死，1800 余人重伤。



随着 6 月 22 日德军开始进攻苏联，德国空军主力转往苏联战场，对英国的战略空袭也终于停止。人类战争史上最惊心动魄的大空战——不列颠之战终告结束。

战役影响

不列颠之战证明了战略性的大规模空袭将直接影响战争的进程，显示出制空权在现代化战争中的重要地位，并证明了防空的战略意义。由于不列颠战役的胜利，英国得以保存下来，而英国的坚持抗战，把德军拖入了致命的长期持久战，而且成为日后英美反攻欧洲大陆的跳板，使德军陷入了两面作战的困境。由于损失过多的战机和飞行员，又无法取得英伦海峡的制空权优势，更无法借由空袭瓦解英国的地面和海上战力，迫使德国不得不放弃入侵英国的作战计划。

在不列颠之战中，德国空军损失超过 2000 名空勤人员和将近 2000 架各类飞机，虽然不至于影响到整体的实力，但是对于资源非常有限的德国来说，这些损失在对苏联开战之前也无法完全恢复。

英国政府在伦敦修建的不列颠之战纪念碑

NO.71 库班空战对于苏联取得苏德战场制空权有何作用？

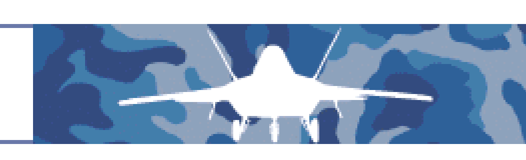
库班空战是二战苏德战场上一次大规模的空中战役，德国空军在会战中严重受挫，从而丧失了苏德战场南翼的制空权。此战充分暴露了朱里奥·杜黑制空权理论的片面性，苏联战斗机部队的辉煌战绩说明——空中交战是夺取制空权的最重要的手段之一。

1943 年 2 月 5 日夜，苏军陆战部队发起前期攻势，在库班半岛南侧、德军“蓝色防线”最南端的梅斯哈科地区登陆成功，抢占了一块宽 4 千米、纵深 2.5 千米的登陆场，很快又扩大到 30 平方千米，在德军防线的南侧横插了一刀。德军大为惶恐，经过一番调兵遣将，于 4 月 17 日出动 4 个步兵师，2.7 万人在大批飞机支援下，对取名“小地”的苏军登陆场发起了疯狂进攻。

库班战役的第一轮大角逐同时在陆地、海面和空中爆发，其中尤以空战最为激烈。德国空军第 4 航空队在这小小的空间中投入作战飞机近千架，猛烈轰炸登陆场，以支援步兵作战。其出击机场多在克里米亚和库班半岛上，距前线仅 50 ～ 100 千米，因此出动强度非常大，异常猛烈的火力风暴不时向“小地”登陆场刮去。

苏军空军第 4 集团军最初出动了 300 架飞机阻击敌军的空地攻势，打得十分顽强。但由于力量占劣势，其基地又是在 150 ～ 200 千米以外的克拉斯诺达尔，因此一度陷于被动。坐镇前线指挥的大本营代表、空军司令诺维科夫元帅决定大规模增兵库班，以扭转被动局面。他从统帅部大本营调来了轰


苏军在库班空战中的主力战斗机雅克 -9



炸航空兵、战斗机航空兵，使苏军的飞机数量增加到 900 多架。

2 月 20 日，德军对“小地”展开了更凶猛的进攻，苏军航空兵大批投入防御战斗中，一天之内对敌步兵和炮兵战斗队形进行了两次密集队形突击，炸得德军狼狈败走。在第一轮 3 天的激战中，德军共损失飞机 182 架，德国空军被迫转入防御作战。第一轮激战后，仅仅平静了 5 天。4 月 28 日，德国空军抢先发起了一次空中进攻，这一天之内出动了 850 架次，突击苏军集结地域，苏军战斗机出动了 310 架次进行了拦截。4 月 29 日，苏联空军又对德军发动了第二轮进攻，这一天苏联空军进行了 42 次编队空战，出动了飞机 1308 架次，击落 74 架德机。

5 月 26 日晨，库班爆发了更激烈的战斗，苏军对“蓝色防线”发起了猛攻。苏德空军展开了第三轮空中角逐。空军第 4 集团军在发起进攻前，出动了 338 架飞机，配合炮兵进行了 40 分钟的密集航空火力准备。但德军的抵抗空前凶猛，这一次德军急忙从战场外围调入了大批飞机，使第 4 航空队的飞机数猛增到 1400 架。在进攻的前 3 个小时，德军航空兵就出动了 1500 架次，从空中阻击苏军攻势；中午以后前线上空继续不断出现德军飞机。

为夺回主动权，打掉德军的嚣张气焰，空军第 4 集团军及时调整战术，将战斗机防区扩大，在战区边缘截击敌轰炸机。同时广泛采取了“游猎”战法，机动灵活地打击德机。由于战斗机大批用于争夺制空权和拦截敌轰炸机，轰炸机和攻击机无法得到有效的护航。他们采取大编队自我保护的方法，坚持出动，突击敌地面反击部队。执行任务中，攻击机始终保持 15% 的弹药品随时准备与敌空战。这次空战，是库班三次空战中最激烈的一次，11 天中，苏军战斗机出动了 5610 架次，空战 364 次，击落德机 315 架，有效地遏制了德军的反攻势头，重新成为库班上空的主人。



美国援助苏联的 P-39 战斗机也被大量投入库班空战

在库班2个月的空战中，苏军出动飞机3.5万架次，击落德机800余架，极大地削弱了德军的空中实力。苏联空军夺取了苏德战场南翼的制空权，为进而夺取整个苏德战场的战略制空权铺平了道路。



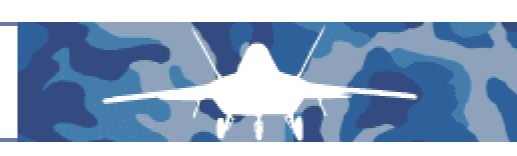
参加库班空战的德国 Fw 190 战斗机

NO.72 二战苏德战场上的库尔斯克空战有何重要意义？

库尔斯克空战是苏德战场最大规模的一次空中战役，希特勒为了防止东方战线的崩溃，孤注一掷，集结了东线65%的空中力量与苏军展开了一场规模空前的空中大血战。双方共投入作战飞机1.2万余架，德国空军在会战中损失惨重，彻底丧失了苏德战场的战略制空权。

1943年5月6日5时30分，苏军以112架轰炸机、156架攻击机和66架战斗机，在1200千米长的战线上同时对德军实施了第1次密集突击，并从空中封锁了驻有德军战斗机的部分机场。下午15时，苏军又发起了第2次突击，共出动飞机372架，突击了德军20个机场。在这次突击中，德军进行了猛烈的抵抗。德军所有防空兵器均处于高度戒备状态，战斗机在空中进行巡逻，高射炮在机场区实施拦阻射击。苏军统帅部及时增派了对付敌防空兵器和封锁驻有战斗机机场的兵力和兵器，飞行员在克服了德军的猛烈抗击之后，击毁击伤德军158架飞机。

7月5日，希特勒开始了“堡垒”进攻战役。双方的战斗机与战斗机之间、战斗机与轰炸机之间、轰炸（攻击）机与坦克之间展开了激烈的大混战。空战、




描绘库尔斯克空战的绘画作品

空袭、反空袭交替进行，仅 7 月 5 日这一天，就与德机进行编队空战 76 次，击落德机 106 架。

担任南线防御的苏军航空兵打得更加顽强。5 日，德军从别耳哥罗德向库尔斯克城以南的奥博扬发起主攻后，沃罗涅日方面军将其所属空军第 2 集团军的几乎所有的兵力都集中到了奥博扬一线。从 5 日开始，双方展开了战斗机大战，参战飞机之多、空战频率之高，战况之惨烈，均达到惊人的程度。在宽 20 千米、长 60 千米地区上空，同时有双方的 2000 多架飞机在活动。一次参战的飞机常常多达 100 ～ 150 架。7 月 5 日双方编队空战达 99 次。至 10 日，仅空军第 2 集团军的战斗机就进行了 205 次空战，共击落德军飞机 330 架。

加卢诺夫将军指挥的近卫战斗机航空兵第 8 师的飞行员在战斗中表现尤为突出。他们在第 1 天就击落敌机 76 架。中队长戈罗韦茨上尉 7 月 6 日在完成战斗任务返航时，发现敌一群轰炸机正飞向苏军阵地。他毫不畏惧地迎了上去，突然发起连续攻击，一气击落了德机 9 架，创造了空战史上的奇迹。7 月 12 日早晨，苏联空军第 2 集团军开始进行航空火力准备，200 多架飞机对准德国坦克和火炮进行了足足 40 分钟的猛烈轰炸，大量涌来的德国坦克被阻住，德国攻占库尔斯克的“堡垒”计划彻底破产。

8 月 3 日，苏军对德军转入反攻。在部队发起冲击前两个小时，空军第 2 集团军的轰炸机和攻击机在战斗机的掩护下对突破地段上的敌支撑点进行了压制。德军随即把大量航空兵投入被突破地段，意欲阻止苏军的进攻，但

每次袭击都遇到了苏军航空兵的猛烈攻击。在掌握了制空权的苏军航空兵的积极协助下，沃罗涅日方面军的坦克集团很快突破了德军防御的地域；正当沃罗涅日方面与敌展开激战时，草原方面军于 8 月 18 日突破了哈尔科夫外围防线，对敌构成了三面合围态势，以至德军弃城而逃。至 8 月底，胜利地结束了库尔斯克会战。

库尔斯克空战以苏军的辉煌胜利而告终，以此役为标志，苏德战场上的战略制空权转到苏联空军一边。正如前德国将军蒂佩尔基希所说：“从 1943 年起，无论用什么方法，都不能改变敌空军在战斗地域上空的独霸局面。”苏联空军正是从库尔斯克向纳粹的老窝——柏林进发的；从此以后，空地一体作战被日益广泛地应用于战争的实践中。



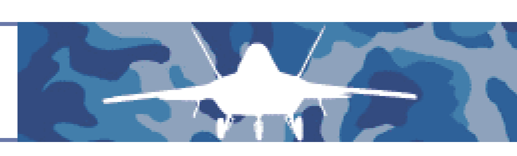
参加库尔斯克空战的苏联伊尔 -2 攻击机

NO.73 “萨奇剪”被称为“零”式战斗机克星的原因是什么？

“萨奇剪”（Thach Weave）是由美国战斗机指挥官约翰 • 萨奇（John Thach）在二战中途岛战役中创造的一种飞行战术，又称为“萨奇交叉曲线飞行”。

太平洋战争初期，旧日本海军航空队凭借“零”式舰载战斗机优异的性能和超远的航程，在战争中占尽上风。英、美、荷、澳四国配备的过时的“水牛”“飓风”“玩具枪”等战斗机完全不是其对手，几乎被“零”式和“隼”式战斗机（日本陆军航空队）一扫而空。

为此，约翰 • 萨奇开始构思一种对付“零”式战斗机的战术。他首先用火柴棍在桌子上思考新战术，然后第二天在空中做试验。依据这些试验的基础，萨奇成功开创出了“分队防御战术”（Beam Defense Position），不久之后便被称为“萨奇剪”。





约翰 • 萨奇（1942 年）



约翰 • 萨奇（右）与战友交流战术

由于战斗机的设计原理，机首方向的攻击力最强，而机尾方向最脆弱，飞行员们最害怕的事情就是有一架敌机紧紧咬在自己的侧后方。约翰 • 萨奇通过简单的方式来解决这种问题——在你被击落之前，将敌机快速地勾引到同伴的射击窗口去，这有点儿像钓鱼。

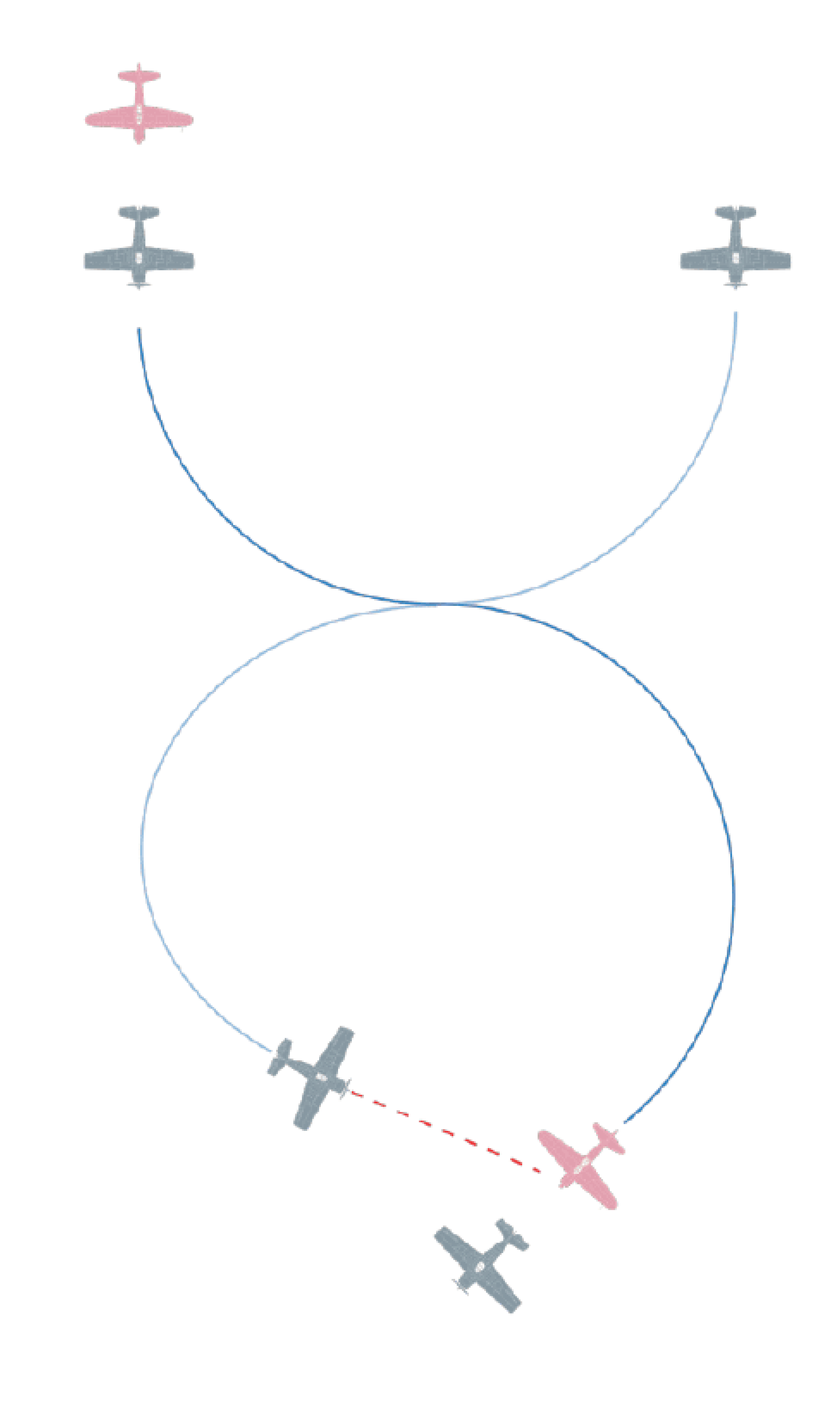
小贴士

1941 年 12 月 7 日，美国正式加入二战时，约翰 • 萨奇年仅 36 岁，他是积累了 3000 飞行小时的海军少校，指挥着“萨拉托加”号航空母舰的 VF-3 战斗机中队。

作为最成功的战术之一，“萨奇剪”相当简单——当一对美国海军战斗机被敌军一架更具机动性的战斗机攻击时，那架被攻击的飞机便成为“鱼饵”，而他的僚机便成为“鱼钩”。鱼钩和鱼饵会向靠近对方的方向转动，这时路径出现交叉。然后当他们在分叉航线上飞得足够远时，他们又会再次执行交叉航线。一旦次方案成功实施，“鱼饵”将会在“鱼钩”的机鼻前通过，同时敌机会在“鱼饵”的机尾后。这样会给“鱼钩”获得一个射击窗口并对其一击致命。

“萨奇剪”也能在稍大规模的两对战斗机中使用并对抗敌机编队。此时，

一对作为“鱼钩”，另一对作为“鱼饵”。为了测试这种战术的效果，VF-3 战斗机中队的飞行员爱德华·奥黑尔领导着另外 4 位飞行员扮演进攻方，约翰·萨奇领导着 4 位 F4F “野猫” 战斗机飞行员使用 “萨奇剪” 战术，结果令人满意。


“萨奇剪”示意图（粉红色为敌机）

1942 年 5 月，“萨奇剪” 在珊瑚海海战中首次使用，并产生了不俗的效果。VF-3 战斗机中队利用其机动性为“列克星敦”号航空母舰护航，并击落了 19 架日本战机。1 个月后，“萨奇剪” 在中途岛海战中获得更广的应用。当时，VF-3 战斗机中队已经装备了新型的 F4F-4 “野猫” 舰载战斗机。不过，约翰·萨奇并不喜欢这种新战机，因为他需要的是速度和敏捷性的提升，而不是增加 2 门笨重的机枪。虽然寡不敌众，但是约翰·萨奇还是在 6 月 4 日的一次作战中击落 3 架 “零” 式战斗机，不久又击落 1 架九七式舰载攻击机。中途岛海战结束时，约翰·萨奇已经击落了 6 架敌机。

此后，该战术很快就成为美国海军飞行员的标准手段，并被美国陆军航空队的飞行员采用。在瓜达尔卡纳尔，美国海军陆战队从亨德森机场起飞的 “野猫” 战斗机也采用了 “萨奇剪” 战术。


美国 F4F “野猫” 战斗机



“萨奇剪”战术被证明是非常有效的，美国飞行员也在越南战争期间使用过，它时至今日仍然是堪用的空战战术。



日本“零”式战斗机

NO.74　俯冲轰炸退出军事舞台的原因是什么?

所谓俯冲轰炸，指飞机沿较陡的向下倾斜轨迹，甚至垂直向下作直线加速飞行时进行的轰炸。二战期间，俯冲轰炸机在战场上盛极一时。相较于同时期的水平轰炸机，俯冲轰炸机的优势在于投弹命中率高，其效率也要高出很多。由于载弹量较小，俯冲轰炸机主要被用于战术轰炸，但也可用于战略轰炸。

俯冲轰炸机在攻击敌方目标时，会以与地面超过45°角的方式高速向目标俯冲，在距目标很近的距离上拉起飞机同时投弹。这种投弹方式的优点是，可以在保证投弹速度的情况下尽可能提高命中率。由于投弹高度低，其命中率较水平轰炸机提高了许多倍。此外，俯冲轰炸机无须安装复杂的瞄准系统或雷达。

俯冲轰炸机在其顶峰时期被广泛应用于对重要目标，尤其是小面积或移动中的目标的攻击，以充分发挥其投弹准确度高的优势。然而其优势也是有代价的，俯冲轰炸机为了实现高速俯冲的战术方式，气动结构的设计与其他

飞机有所不同，在一定程度上会影响其飞行速度和飞航性能。而且由于其机体小，载弹量和续航力也远不及水平轰炸机。此外，由于俯冲轰炸机需要向目标垂直俯冲，因此极易遭到地面防空火力，如高射炮的攻击。多数俯冲轰炸机都配备有减速板，可以在俯冲时产生阻力，将速度保持在 460 千米 / 时左右以保证投弹的准确性。

二战中，飞机等所能使用的对地攻击武器只有炸弹、火箭弹等少数几种武器，而且当时还没有成熟的导弹出现，因此更多地只能依赖俯冲来进行精确轰炸。当时，海军航空兵一般较空军（或陆军航空兵）更青睐俯冲轰炸机。有别于空军（或陆军航空兵），海军航空兵使用的舰载机尺寸和重量有限，海军航空兵需要将有限的弹药精确地送至目标上空，而非大规模的密集式轰炸。

在二战的欧洲战场，德国是俯冲轰炸机的主要使用者。德国俯冲轰炸机的主要任务是为其装甲部队和步兵提供近距离火力支援，代表机种为 Ju 87“斯图卡”俯冲轰炸机。在太平洋战场，日本和美国也制造了大量俯冲轰炸机，主要用于参加反舰作战。日本在战争初期拥有先进的九九式舰上轰炸机，在珍珠港事件以及随后的其他一些行动中表现良好。但随着战争后期日本航空工业技术发展迟缓，其优势也被美国超过。美国俯冲轰炸机在战争后期消灭日本联合舰队剩余力量的战斗中发挥了重要的作用，如 SBD“无畏”俯冲轰炸机及 SB2C“地狱俯冲者”俯冲轰炸机。

二战后，随着导弹和制导炸弹的普及，以及瞄准系统的进步，导致俯冲轰炸机失去了用武之地。因此，现代轰炸机几乎都是水平轰炸机。


德国 Ju 87“斯图卡”俯冲轰炸机





美国 SBD“无畏”俯冲轰炸机



美国 SB2C“地狱俯冲者”俯冲轰炸机

NO.75 贝卡谷地空战备受军事家注目的原因是什么？

发生在 1982 年的马岛战争和黎巴嫩战争是现代战争史上的分水岭，标志着战争已进入高技术时代。在阿以黎巴嫩战争中，尤以贝卡谷地空战最受军事家关注，它是空战史上具有划时代意义的一个著名战例，此战充分显示了电子战在空战中的巨大作用。

1982 年 6 月 9 日上午，以色列空军放出了引诱叙利亚发射导弹的无人驾驶飞机；贝卡谷地叙军的雷达捕捉到以色列空军“飞机”后，随着指挥员的

命令，“萨姆 6”导弹一次次射向以空军“飞机”。此时，以色列空军的 90 架 F-15、F-16 战斗机和 F-4、A-4 轰炸机对贝卡谷地的萨姆导弹阵地进行了猛烈攻击，顷刻间叙利亚人苦心经营 10 年，耗资 20 亿美元才建立起来的 19 个“萨姆”导弹阵地变成了一片废墟。

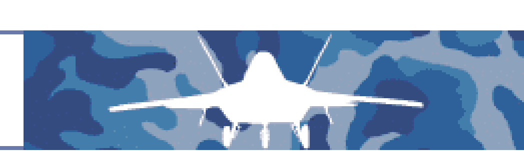
得知贝卡谷地的导弹阵地遭到攻击，叙利亚立即起飞 62 架米格 -23 和米格 -21 战机，向贝卡谷地上空的以军攻击编队进行反扑。然而以色列空军对此早有防范，F-15、F-16、E-2C 和波音 -707 改装的电子战飞机组成的混合作战机群，在叙机可能来袭的方向已建立了一道空中屏障。叙军的飞机刚刚滑入跑道，就被 E-2C 牢牢地捕捉到了。在几秒钟内，电子计算机就将飞机的航迹诸元计算出来，并将飞机的距离、高度、方位、速度和其他资料迅速通知给自己的伙伴。

叙机临近贝卡谷地上空，率先遭到以军电子战飞机的强电磁干扰。叙机机载雷达荧光屏上看不见以机，半自动引导装置也不起作用，耳机里听不清地面指挥口令，空战一开始就处于被动地位。一名叙利亚飞行员看见 1 架 F-15 迎面飞来，他猛拉机头，企图绕到以机尾后用“尖顶”空对空导弹对敌尾喷管发射；他才爬了一半，只见 F-15 机翼下闪出一串红色的火花，以色列自制的红外寻的导弹极速飞来，他的飞机猛地一抖，随即燃烧起来。

以军一架 F-16 完成攻击任务返航时，传感系统警告飞行员，叙军米格 -23 已向他发射空对空导弹，以色列飞行员不慌不忙地按下了燃烧火箭按钮，射出 1 枚燃烧火箭；叙军射出的“蚜虫”空对空导弹一下子就被它所发出的强



参加贝卡谷地空战的以色列 F-15 战斗机





参加贝卡谷地空战的以色列 F-16 战斗机

大热流吸引了过去。

150 多架飞机，像蝗虫一般在贝卡谷地上空穿梭往来，以超音速的速度互相追逐，恰如一场“车轮战”。导弹不时地从飞机的机翼下发射出来；飞机发动机的轰鸣声、导弹的吼叫声、飞机中弹的爆炸声混在一起，使人弄不清飞机在哪里飞以及飞往哪里去。加上飞机的导弹施放的白烟，空中乱成一团，无法辨认谁在攻击谁。以色列空军在这次空战中取得了击落叙军 30 架，自己没有损失一架飞机的战绩。

叙军夜晚立即向贝卡谷地增援部队，尽一切力量阻止以军可能发动的进攻。然而，天一亮，在以色列 92 架飞机的一阵狂轰滥炸之下，新布置的 7 个导弹连又荡然无存。52 架叙利亚飞机再次奉命出击。然而，这一次它们的命运更惨，竟没有一架能够突破以色列的空中屏障安全地飞回来，以色列空军又一次取得了没损失一架飞机，击落叙军 52 架飞机的辉煌战绩。叙利亚再也承受不起这样的损失了，于是空军停止了出击。

贝卡谷地空战中，以色列空军运用高新技术，以未损伤一架飞机，击毁叙军 84 架飞机的辉煌战绩，在全世界引起极大震动。从此，空战进入了高技术时代，世界空战史掀开了新的一页。

 NO.76　现代导弹空战与传统机炮空战有何区别?

空对空导弹出现以前，战斗机之间的空战都是在近距离依靠机枪、机炮进行。随着空对空导弹出现及技术的成熟，机枪、机炮迅速退居二线，空战也演变为远距离导弹之间的厮杀，甚至超视距、更远距离的对决。具体来说，现代导弹空战与传统机炮空战的区别主要有以下几点。

（1）小编队、单机作战将成为主要作战方式。在机炮空战模式下，往往采用大编队突击的作战方式，而现代空战与传统空战相比，将出现战斗队形由密集化向小型化，甚至单机化转变的趋势。大作战编队不仅起飞集合慢、不利于空中指挥员对编队飞机的指挥，而且维持编队，保持编队形状会耗费大量的飞行员精力、降低了空战效率。而且，大编队作战，目标明显，机动迟缓，空战回旋余地小，极容易受到来自各个方向的攻击。现代战机速度快，空战时需要更大空中回旋余地，随着中远程空对空导弹的发展，使得小编队一样可以控制大片空域，而机载火控的发展，使得一对多同时攻击也成为现实。

现代空战往往采取四机以下小编队，小编队相对弥补了大编队的不足，可迅速投入战斗，加大了空战的回旋余地，且有利于飞行性能的发挥，便于发挥高度、速度和超机动优势，但是，与单机相比，小编队仍存在致命的弱点，即无法收到“出其不意、攻其不备”的效果。现代小编队往往采取同种机型，执行同一任务。由于性能指标一致，更容易维持编队。而隐形飞机则更适合单机行动。“单机游猎”将成为隐形飞机的主要作战方式。目前各国战斗机主要采用双机（四机）雷达跟进队形、双机密集队形、双机橄榄形编队、三机防御和支援队形等。

（2）实体分散，系统增强。虽然未来空战将是小编队或单机行动，但是在空中作战行动时将会出动侦察机、攻击机、预警机、电子战飞机、空中加油机等综合行动，未来的空战将和整个作战大系统紧密相连，而在行动过程中处在不同高度、不同方位的各种飞机将通过无线电通信、战术网络、数据链连接得更加紧密，虽然地理空间位置相距遥远，但是为了同一种空中作战行动，将互相支援。所以现代空战呈现出实体分散，但是整个空战系统的联系反倒增强。在空战系统中，预警机将处于空中行动最核心地位，预警机担负着警戒、引导、指挥空战等任务，是空中作战的灵魂和核心。一旦预警机被击落，则各机种无法得到信息，战斗行动将很难完成。



（3）现代空战必须时刻保持空中存在。地面雷达引导截击是苏联发展的空战模式，这种作战模式是由地面雷达、人力观察哨等组成预警系统，而防空截击机则做好出击准备，当预警系统发现目标后，指挥所命令截击机起飞拦截。这种模式曾在越南获得极大的成功，至今仍有一些国家采用这种作战模式。但是，在中远程空对空导弹的发展下，这种地面雷达引导截击模式已经不再适应。地面雷达受到地形地貌、地球曲率的影响，远程低空搜索死角很大，很难发现在远程低空滞空待命的敌机。而拦截机起飞爬升段，很难作出有效规避动作，雷达也不能指向目标搜索。此时，受到远距低空敌机的超视距导弹攻击，很难进行有效规避，往往刚起飞，就被击落，一线、二线机场尤其危险。所以保持空中存在，以预警机为核心建立预警系统是防御方的首要选择。



美国 F-22“猛禽”战斗机双机编队


法国“阵风”战斗机搭载的各式制导武器


俄罗斯苏 -57 战斗机三机编队



NO.77 战斗机双机编队在中远距空战中常用的攻击战术有哪些？

现代战斗机双机编队在中远距空战中的攻击战术主要有：直接攻击、钳形攻击、釜底攻击、水平疏开、垂直疏开、组合疏开等。

直接攻击

直接攻击是战斗机编队与目标相向或同航向飞行时，直接使用导弹攻击。当目标处于中空或高空时，战斗机编队在目标探测距离和导弹最大发射距离方面占较大优势，可在空中或地面指挥所指挥下进行攻击。如果条件允许，可以 1000 ～ 2000 米的负高度差进入目标前半球或后半球，当机载雷达探测并识别目标后发射导弹。攻击前通常打开电子战设备干扰敌方，防止其进行攻击，而后飞机在上仰时以最大允许发射距离发射导弹。

钳形攻击

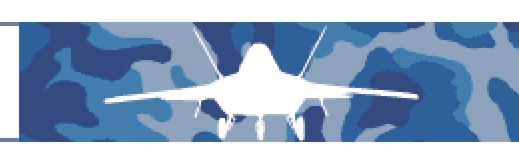
钳形攻击是指利用两个编队从不同方向（侧面）同时攻击目标。如果敌方发现一个编队并向其转弯，另一个编队即可占据有利战术位置对目标进行尾后攻击。此时，由地面或空中指挥所对飞机进行引导，并观察空中情况和协调各机的行动。钳形攻击有两种典型情况。

（1）侧翼迂回，占位攻击。双机保持跟进队形从 70 千米外接敌，高度大约在 4800 ～ 9200 米，速度 800 ～ 1000 千米 / 时，目标机高度 3600 ～ 9500 米。距离 40 ～ 60 千米发现目标机，距离 30 ～ 40 千米时前位长机向一侧反转诱敌，后位僚机接敌并发射中距导弹，长机再反转进入攻击。若僚机攻击前被目标机锁定，则僚机实施反转诱敌，由长机转入攻击。

（2）双向迂回，左右夹击。双机保持跟进队形，高度 4800 ～ 9200 米，速度 800 ～ 1000 千米 / 时。距离 30 ～ 60 千米雷达发现目标机，15 ～ 40 千米锁定，双机同时向两侧分开，并反转迂回，再回头对目标机实施包抄夹击。

釜底攻击

釜底攻击是美国 F-15“鹰”、F-16“战隼”等战斗机混合编队进行空战的主要战术，经常与“钳形攻击”组合使用，适用于中队以上编队空战。在空中预警机发现目标后，F-16 双机立即机动至目标侧翼，并进行防御机动，以吸引敌方，迫使敌方中队进行双机水平疏开，其中敌方一个双机编队跟踪 F-16 双机，而后 F-15 双机投入战斗，对敌方两个双机编队分别实施导弹攻击。



同时另一个 F-16 双机在低空从相反方向投入战斗，与 F-15 形成“钳形攻击”。如果隐蔽攻击失败，F-16 将吸引敌方跟踪，并展开近距空战。远处的 F-15 在情况适宜时，能有选择地发射中距导弹攻击。



美国 F-15“鹰”式战斗机双机编队

水平疏开

在低空空战和条件不允许进行垂直机动时使用。其要领是数架或两架飞机同时施放有源干扰，并按预定角度沿水平面脱离原航线向两侧做修正转弯。完成疏开后，继续接近目标，使敌人无法发挥导弹发射的距离优势，同时可保障攻击编队顺利进入导弹的有效发射距离，向目标转弯后，先敌实施发射。



美国 F-16“战隼”战斗机在高空飞行

战斗开始前，为达成攻击的隐蔽性，战斗机双机须编成密集梯队战斗队形，前后距离 200 米以内，左右间隔 100 米以内。当与目标距离达到 60 ～ 65 千米（约为最大探测距离的 70%）时，敌方雷达进入自动跟踪状态，编队立即改变队形。当发现在捕捉到目标的同时也被敌方雷达截获时，飞行员立即施放干扰 15 ～ 20 秒，而后以 30° ～ 45° 的角度脱离原航线，向两侧做修正转弯，并直飞 60 ～ 70 秒。直飞时间取决于修正转弯的角度，角度越大，直飞时间越短。直飞过程中为防止目标脱离雷达跟踪区域，飞行员应尽量缩小角度，并修正自己的位置。

这些机动动作可最大限度缩短敌方导弹发射距离，破坏其雷达自动跟踪，迫使其重新判断形势，重新定位和锁定目标，重新准备导弹发射。即便敌方

双机编队长机雷达锁定没有被破坏，从发现己方双机疏开到重新定位也需要50～60秒。利用此间隙，己方双机可进入导弹的有效发射距离，向敌方转弯，并根据情况做如下选择：双机同时对敌方实施攻击；长机对敌方实施攻击，僚机对长机进行保障，或者相反。假如己方双机完成疏开后，长机仍处于敌方雷达锁定之中，长机应在转向目标后，重新施放干扰，掩护僚机对敌方实施导弹突击。假如僚机处于敌方雷达锁定之中，由僚机进行保障，长机对敌方实施导弹突击。

如果疏开后己方双机仍无法脱离敌方干扰扇面，机载搜索雷达将受到极大影响，突击飞机应使用光学瞄准具和红外导弹。红外定位器发现目标距离短，开始时易丢失目标。这时另一架飞机应使用雷达搜索，并利用遥控密码通信提供目标指示，以减少突击飞机的搜索时间。

垂直疏开

垂直疏开是梯次配置的战斗机编队在接近目标过程中，以垂直方式疏开的战术动作，可先敌发射导弹和破坏敌方导弹引导。该动作适用于中高空小编队空战，既可在进入导弹发射区域前使用，也可在刚进入时使用。机载雷达发现目标后，编队以密集队形接敌。达到锁定目标距离时（55～60千米），双机开始施放干扰，完成垂直疏开动作。具体方法是：长机开加力，以0.9马赫的速度爬升到适宜高度，僚机高度下降500米。在此过程中，必须准确把握垂直疏开的时机，过早会暴露意图，过迟可能会被敌方导弹击中。

垂直疏开战术动作可以取得以下效果。第一，至少会有一架飞机脱离敌方的探测范围（很可能是僚机），为实施隐蔽先敌突击创造条件。第二，长机具有高度上的优势，增大了导弹发射的允许距离，可为先敌发射创造条件。第三，获得较大高度差。高度差越大，先敌发射的时间越充分。高度差为2000米时，先敌发射的时间为5秒；高度差4000米时，先敌发射的时间为8～10秒；高度差7000米时，先敌发射的时间为15秒。在高度差9000米时，可获得绝对的先敌发射优势。

组合疏开

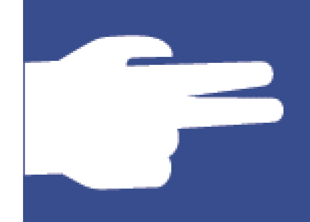
组合疏开是水平疏开和垂直疏开战术动作的组合。其要领是在接近目标过程中，飞机脱离原航线，向两侧完成修正转弯，同时改变飞行高度，以达成编队疏开。组合疏开战术动作用于进入敌方导弹发射区前、接近目标的初始阶段和进入敌方导弹发射区后。

在接近目标的初始阶段，长机可在完成修正转弯的同时，完成爬升动作。



僚机可在完成修正转弯的同时，完成下降高度动作。双机同时占据预定高度。在进入敌方导弹发射区后，长机在完成战术转弯的同时完成爬升，僚机完成战术修正转弯的同时下降高度，或者相反。或长机爬升，僚机在水平面做战术修正转弯。


法国“幻影Ⅲ”战斗机双机编队



NO.78 战斗机中队以上编队的典型攻击战术是什么？

中队编队通常由攻击和掩护编队组成。攻击编队主要是前出至敌方编队侧翼，从低位突然实施导弹突击。掩护编队主要任务是：及时发现敌人；随时将目标信息传给突击编队长机；佯动吸引敌机；在接敌紧急阶段施放干扰；火力支援攻击编队，并对其实施掩护。攻击和掩护编队的间隔和距离根据实际情况而定。间隔大小应保障两个编队同时进入导弹发射距离，距离大小应保障突击编队在掩护编队进入敌方发射区域前实施攻击。

侧方攻击

攻击编队在 200 ～ 500 米低空飞行，位于掩护编队前 18 ～ 20 千米，间隔 15 ～ 20 千米，观察瞄准系统置于光学瞄准状态。掩护编队在中空飞行，观察瞄准系统处于工作状态。起飞后或在投入战斗前，均保持这种队形。

当攻击编队进入锁定目标距离（60 ～ 65 千米）后，掩护编队开始准备攻击，由其长机实施目标锁定。如果敌方已先期锁定，掩护编队长机可施放

干扰破坏敌雷达跟踪，僚机向左或向右完成修正转弯，并下降到低空，以期进入敌方侧翼。在掩护编队佯动掩护下，攻击编队进入最佳发射距离（5～10千米），打开搜索雷达，以大坡度转向目标。发现目标后，急跃升，从侧下方突然对敌方实施突击，掩护编队长机继续对敌方施放干扰。如果敌方在突击编队发射导弹后开始机动，将落入掩护编队僚机的导弹攻击之中。攻击编队应位于掩护编队的前面，在掩护编队进入敌方导弹发射区前先敌实施突击。



美国 F-4“鬼怪Ⅱ”战斗机编队

对头攻击

当攻击编队位于掩护编队后面，或距目标同样距离时，通常采用对头攻击战术。战术动作与侧方攻击基本相同。掩护编队做好攻击准备，在进入敌方导弹发射区域后，向左或向右完成修正转弯，敌方机载雷达即会跟踪掩护编队飞机，为攻击编队隐蔽实施对头攻击创造条件。



瑞典 JAS 39“鹰狮”战斗机编队

使用某主动雷达制导导弹时，两个编队的距离为20～25千米。掩护编队根据使用不同导弹的距离要求，在进入敌方导弹发射区前完成修正转弯。当掩护编队飞机机动后处于攻击位置时，攻击编队的飞机应进入导弹发射区域。当两个编队与敌方距离相等，即攻击编队正好处于掩护编队下方时，可对敌方实施攻击。



西班牙“台风”战斗机编队





NO.79 战斗机如何在中远距同时或连续攻击多个目标？

一架战斗机在中远距同时或连续攻击多个目标的基本程序通常包括：起飞引导、空中搜索、目标跟踪、攻击准备、攻击、退出攻击六个阶段。

（1）起飞引导阶段。与单目标中距攻击基本相同。当拦截多个同时接近的目标时，通常将拦截机引导至能够兼顾多个空中目标的中心区域。

（2）空中搜索阶段。搜索方法与进行单目标中距攻击基本相同。当机载雷达探测到多个空中目标后，飞行员根据战斗需要选择单目标或多目标跟踪。

（3）多目标跟踪阶段。在此阶段，机载雷达从“方位 - 速度”或“方位 - 距离”状态自动转入了边扫描边跟踪状态，进行目标识别，火控系统对目标进行威胁判断、根据敌机群规模列出目标危险等级，选择最危险的 2 ～ 6 个目标，进行攻击排序及导弹分配，武器管理系统对导弹开始通电、加温和自检。

（4）攻击准备阶段。在此阶段，火控计算机需完成雷达扫描中心、飞行最佳引导指令、多枚导弹允许攻击区计算，并给多枚空对空导弹分别进行惯导对准、任务装定。当目标满足发射导弹条件时，火控系统发出导弹“解锁”指令。

（5）攻击阶段。飞行员发射第一枚导弹后，便进入下一个攻击阶段。在此阶段，飞行员仍需操纵机载雷达保持对多个目标的跟踪及空情监测，并继续完成后续导弹的瞄准、发射以及对所有导弹的指令制导。


印度“光辉”战斗机起飞

（6）退出攻击阶段。当最后一枚导弹导引头自主截获目标并进入了末导阶段，火控系统发出允许脱离指令，飞行员机动脱离，当导弹命中目标后，多目标攻击的整个过程即完成。

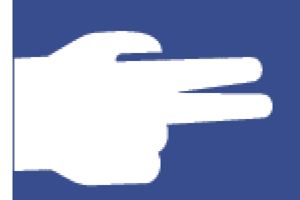
实施中远距同时或连续多目标攻击，是技术成分大于战术成分的攻击行动。由于其攻击距离远，对飞行员的传统意义上的战术动作要求不高，但对机载雷达、火控系统要求很高。需要机载雷达、火控系统计算等多个相关系统，对多个空中目标同时进行搜索跟踪、目标识别、战术计划制订、威胁等级判断、攻击排序、火力分配、雷达照射兼容性检查、雷达扫描中心计算、最佳引导指令计算、操纵指令计算、空情监视以及多枚空对空导弹的瞄准、发射、制导等多方面工作。



德国“狂风”战斗机正在搜索目标



美国 F-15“鹰”式战斗机发射 AIM-7“麻雀”导弹



NO.80 缠斗在导弹时代的空战中是否已经过时？

缠斗是描述两架军用飞机在近距离战斗的形态，大多数的场合是描述两架或者多架战斗飞机企图击落或者威胁对方的空中战斗作为。缠斗的英文为“Dogfight”，所以也直接翻译为“狗斗”，此名词最早出现于一战时期，敌对的两架战斗机，都试图进入对方的尾部区域，以瞄准射击。这个过程仿佛两只狗嬉戏打闹互相追逐撕咬对方的尾巴。

缠斗衍生的战术与训练始于一战，在二战时发展至巅峰。时至今日，虽然进入了导弹时代，战斗机利用雷达的协助，在相当远的距离就能够发现敌人，并进行超视距作战，但缠斗仍然是一项很重要的训练项目，而且缠斗涵盖的作战距离也比以前更远。

现今，缠斗在现代空战中的重要性丝毫没有下降，这点从各国的第五代战斗机（F-22、F-35、苏 -57）都拥有不弱于第四代战斗机的机动性可以看出，尤其是 F-22 和苏 -57 拥有矢量喷管和高推重比发动机，其机动性能甚至还大大优于上一代战斗机，可以作出各种匪夷所思的过失速机动，也就是说具有比第四代战斗机更好的机头指向能力。

目前，各大国空军都在研究隐身战斗机之间空战的问题。美国空军曾使用 F-22 战斗机进行过模拟对抗，发现隐身技术大幅降低了 F-22 战斗机雷达的探测距离，在迎头空战中双方往往根本无法获得发射中距导弹的机会，就直接进入近距缠斗。第五代战斗机能在远距离上轻易击落上一代对手，讽刺的是在与同代对手空战时却可能要陷入最“原始”的缠斗。所以现代隐身战斗机非常注重被动探测手段和红外制导空对空导弹的远程化，如美国 AIM-



描绘一战时期战斗机缠斗场景的绘画作品



电子游戏中的战斗机缠斗场景

9X Block 3 导弹的射程将比 Block 2 导弹增加 60%，已经进入了中距导弹范围。

另外，从长远发展来看，随着战斗机装备机载高能武器的可行性越来越大，未来空战有可能又会完全回归到近距空中格斗阶段。如果空战双方都装备了高能激光武器，那么双方战斗机也只能进入近距空中格斗阶段，使用机炮以及高能激光武器击落对方。



高速机动的美国 F-22“猛禽”战斗机

因此，缠斗并没有过时，而且随着第五代隐身战斗机的发展而愈加重要起来。

NO.81　著名的“眼镜蛇机动”有没有实战意义？

1989 年在法国巴黎国际航展上迎来了一个“不速之客”，它就是苏联研制的苏 -27“侧卫”（Flanker）战斗机，该机在航展上一亮相就在西方国家引起了轰动，不仅仅是因为它奇特的外形，更因为它在航展上创造了一个至今令人津津乐道的高难度机动动作：“眼镜蛇机动”，该动作是由苏联王牌飞行员维克多尔·普加乔夫驾驶苏 -27 战斗机创造的，一经问世就令世界为之惊叹，也让苏 -27 战斗机名扬四海，被誉为当时世界上最好的战斗机，直到今天，苏 -27 战斗机依然是很多国家的主力战斗机。

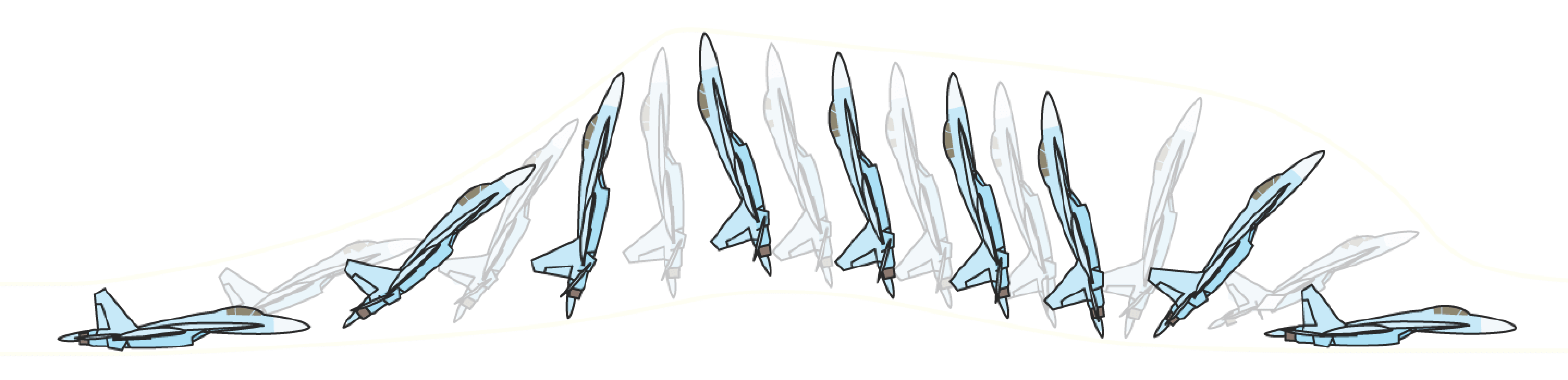


维克多尔·普加乔夫

“眼镜蛇机动”的具体过程为：在战斗机飞行过程中，普加乔夫突然拉杆把苏-27战斗机向后仰起，飞机后仰的角度不断加大，80度、90度、100度，直到120度的大迎角，高高扬起的战斗机机头就像一条眼镜蛇，战斗机保持机尾在前、机头在后的状态，然后普加乔夫推压拉杆把机头压向前方，直到战斗机恢复到平飞状态。“眼镜蛇机动”除了得益于普加乔夫的高超驾驶技能以外，也更从侧面证明苏-27战斗机的机动性能非常优秀。



苏-27战斗机表演特技动作



“眼镜蛇机动”示意图

“眼镜蛇机动”诞生之后，人们对它褒贬不一，肯定的人说这套动作有着非常大的战术意义，而反对的人却认为“眼镜蛇机动”纯属表演动作，没有任何实战意义。反对的人给出的理由是这样的：他们认为战斗机在做“眼镜蛇机动”的时候，由于需要降低飞行速度，此时战斗机的飞行状态极差，不仅不能摆脱咬尾战斗机的追击，而且还会让目标增大更容易被后方敌机击落，所以认为“眼镜蛇机动”没有任何实战意义。那么，事实果真如此吗？

其实，事物存在都有它存在的合理性，如果没有意义那么它就不会存在。近30年来，“眼镜蛇机动”这个经典的机动动作不仅被保留下来，而且还在其他国家流行起来。许多国家的空军都将“眼镜蛇机动”列为战斗机训练项目，所以“眼镜蛇机动”的作用绝不仅仅局限于表演，而是具有相当的实战意义。

理论上来说，“眼镜蛇机动”这个战术动作在空战中不仅可以作为进攻手段，而且还可以作为防御手段。比如，最大的作用是在战斗机进行转弯等都无法摆脱后机咬尾的时候，可以利用“眼镜蛇机动”减速，让后机“冲到”前面去，变被动为主动，咬住敌人让自己的战斗机处于有利的作战位置。还有在遭遇敌机的导弹攻击的时候，利用“眼镜蛇机动”这个过失速机动改变战斗机的飞行姿态，可以大大降低被导弹击中的概率。



米格 -29 战斗机表演“眼镜蛇机动”

NO.82 战斗机空战时如何破解凶险的“剪式飞行”？

战斗机编队作战时，有一种双人协同作战的战术叫“剪刀交叉”（萨奇剪），两架战斗机在空中完成“剪刀”动作可以让尾随的敌机无从下手。但一架飞机与一架敌机之间也会发生类似的动作，这就是“剪式飞行”（Scissors）。

在空战中，如果攻击者即将飞越目标，防御者在发现这一情况后过早地转向攻击者，企图抢占其尾后攻击点，同时攻击方也以滚转的方式控制前行速度，并也在伺机瞄射防御者的后点，如此反复，双方就进入了“剪式飞行”。因为攻守双方不断通过滚转来延迟自己前行的时间，以寻求最佳的射击角度。双方的动作交织在一起，看起来非常像“剪刀”，因此命名为“剪式飞行”。

“剪式飞行”的出现，就是双方都不肯妥协，死拼盘旋性能的结果。双方都想通过每一次盘旋转向尽可能地领先于对手转向，累计优势，直到出现一方比另一方慢半拍的情况，于是一方有机可乘。这样的高过载对抗过程消耗了过多的能量，双方的速度会不短减小、高度不断降低，直到一方摆脱、分离。较常见的结果是，其中的一架战机因失速坠向地面，或者两架战机过于接近而相撞。

简而言之，“剪式飞行”是非常危险的动作，稍有不慎就会机毁人亡。那么，有没有见招拆招的方式呢？答案是肯定的，那就是“破 S”。



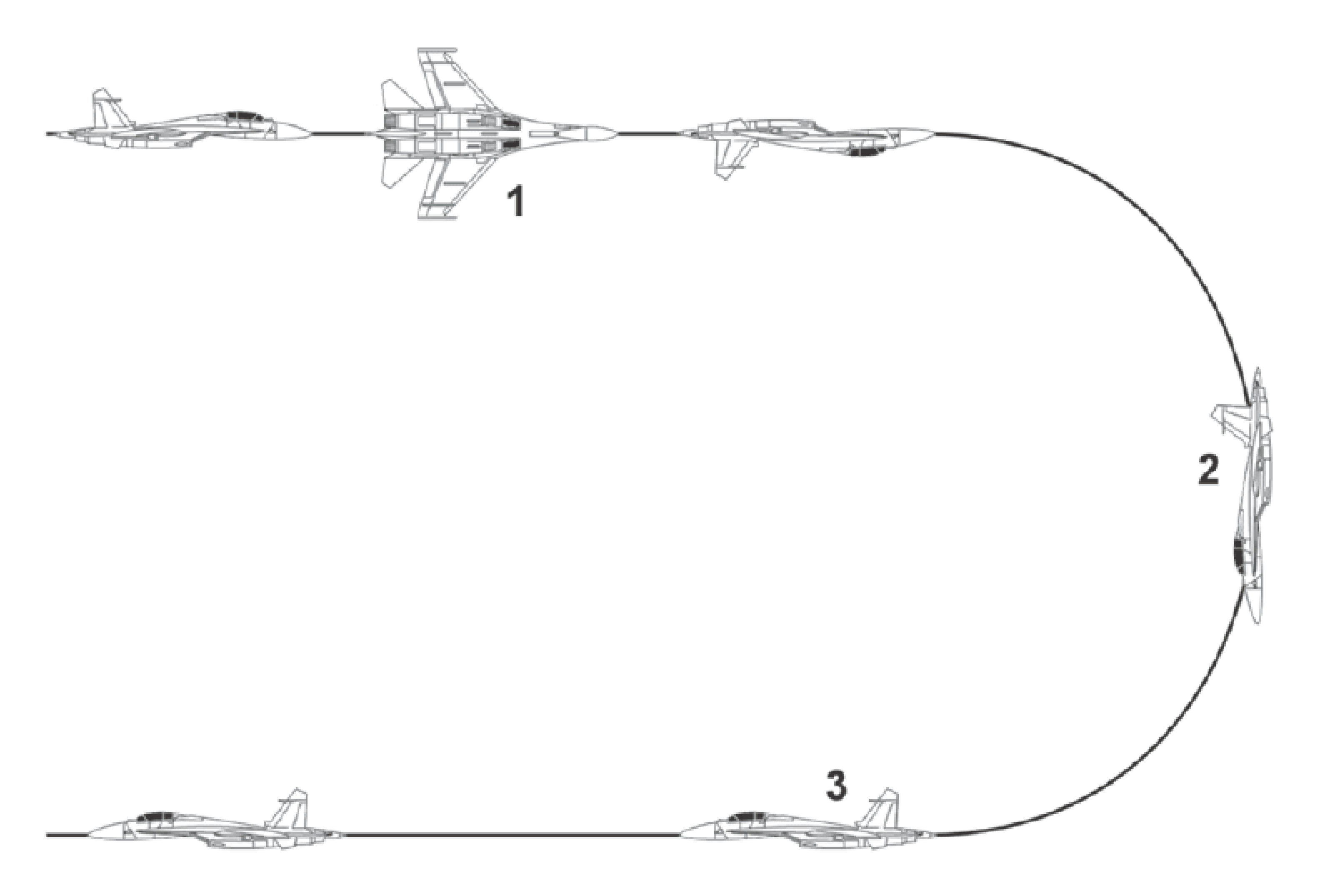
“破 S”的学名为“半滚倒转”，又叫作“分离 S”。它来源于英文“Split S”，其中的“S”就代表“剪式飞行”。所以这个动作的意图很明确，它就是一种摆脱“剪式飞行”的破解方法。

“破 S”的具体动作为：当双方进入“剪式飞行”后，其中一方可以突然垂直下降滚转，直至将战斗机配平，与初始方向成 180 度反向。这样做的原理是以牺牲高度为代价，换取速度，同时将航向改变了 180 度，令对方措手不及。

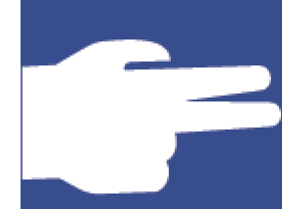
“破 S”是个干脆干练的脱离动作，迅雷般下降，赋予了战斗机极大的速度，但会令垂直方向的转弯半径增大，可能致使战斗机无法拉起而最终坠毁。因此选择做“破 S”之前，先要确保有一定的海拔高度，更要确保战斗机的机动性不会出问题。



盘旋交织在一起的两架战斗机



“破 S”示意图

 NO.83　美国空军如何实施近距空中支援？

2001 年“9 • 11”事件一个月之后，阿富汗北部山区，一架美军 MH-47 直升机趁着夜色悄无声息地潜入。机上搭载着美军“猛虎 1 号”特种作战小队，他们的任务是支援“北方联盟”发起对“塔利班”武装的全面进攻。“北方联盟”的军队与“塔利班”武装长期对峙。“猛虎 1 号”小组到达后，战术引导员开始召唤空中打击，在随后的几个星期内，美国空军和海军的飞机攻击了“塔利班”武装的战壕、掩体、车辆以及指挥控制点，随后，“北方联盟”的军队开始向前推进，顺利攻占喀布尔，“塔利班”政权迅速土崩瓦解。

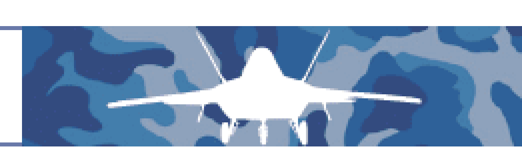
在这场“持久自由”行动中，美军的空中打击给世人展现了一种新的作战模式：非常规战。而高效精准的近距空中支援是达成作战企图的关键环节。不仅如此，在随后多年的反恐作战中，美军几乎在每一次作战行动中，都出动攻击机或无人机，配合地面部队实施近距空中支援。据美国空军中央司令部的统计，仅 2008 年 6 月 18 日一天，联军飞机在阿富汗总共执行了 56 次近距空中支援任务，高效实施定点清除的任务要求，以协助地面部队作战。

通俗来讲，近距空中支援是指以航空兵支援地面部队、海上部队、两栖部队、特种部队作战，对接近己方前沿阵地的敌人进行空中火力打击。近距空中支援实施时，需要空中火力与地面部队在机动和火力方面进行精确配合，以避免误伤。这种精确配合是通过控制近距支援攻击机实现的。通常，执行任务的攻击机由地面或空中的终端控制员进行空中召唤和引导，为了更精确地操作，这个终端控制员通常是攻击机飞行员出身，他能更准确地指示投放弹药种类、攻击方向，尤其是弹着点位置等。

与近距空中支援相对的是空中阻滞，这两者共同组成现代空中支援作战的两大任务类型。在网络化的指挥系统控制下，近距空中支援的打击效能有了更大地提升。

战场态势感知力

近距空中支援作战诞生于二战中。美军在越战、阿富汗战场和伊拉克战场都充分使用近距空中支援，配合地面部队作战。然而，长期以来，困扰近距空中支援作战效能的最大瓶颈是空中作战平台无法实时掌握敌我双方位置的变化，以致误伤事故频发。为此，近年来美军大量装备了“蓝军跟踪系统”，以提升战场感知能力。这套系统将卫星更新数据的时长由原来的 5 分钟缩短





美国 F-35“闪电Ⅱ”战斗机

为现在的 10 秒钟，其终端设备能够使空地平台实现图像、信息、电子邮件和情报的交换。

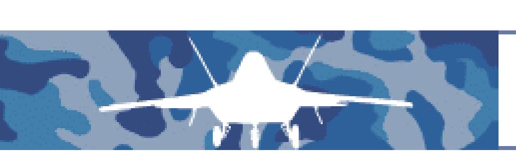
随着新一代 LINK-16 数据链在近距空中支援作战飞机上的应用，联合终端控制员能够将目标坐标与作战飞机进行共享。以 F-35 为代表的第五代战斗机装备了更加先进的探测系统和传感器，能够获得更加清晰的战场综合态势图像，进一步提升了近距空中支援的精确性。

空地协同能力

由于通信手段落后，空地协同一直以计划协同为主，终端引导员必须依靠语音通信引导飞机飞临目标上空实施攻击，从发现目标到申请空中支援、飞机与前方控制员建立联系、确认目标，整个过程至少需要 30 分钟。

2010 年，美国国防高级研究计划局提出“持久近距空中支援”（PCAS）项目，该项目旨在通过广泛应用数据链、无线网络等信息化技术，简化空中作战平台和地面部队协调程序，大幅缩短“目标获取 - 打击”的时间，从而加快空中对地面部队火力支援的速度，同时提高打击精确度。与现在使用的语音通信相比，这套系统将近距空中支援的“杀伤链”时间由 30 分钟缩短为 4 分钟，而且这种“机器到机器”的数据链预期将减少错误。

另外，阿富汗战争的实战经验表明，深入敌后作战的特种部队唯一能够依靠的火力支援来自空中。随着军队信息化程度的不断提升，美军的近距空中支援的指挥层级也向更低层级延伸。现在的战术空中控制组设在营一级，在连一级配备了联合终端攻击控制员，而在班组一级编配联合终端控制员已经在实战中进行检验。



武器平台

近距空中支援，提供的是及时有效的航空火力打击，这要求执行任务的飞机必须灵活、坚固、有较好的场地适应性。

目前，各国空军近距空中支援的主战机型仍是冷战时期设计的 A-10“雷电Ⅱ”苏 -25“蛙足”“美洲虎”“鹞”式等喷气式攻击机，美国空军特种作战司令部一直用 AC-130 炮艇机充当火力支援的主力。尽管这些飞机的性能无法与 F-16、F-15、苏 -27 等第三代战机相比，但它们使用灵活、成本低廉，更适合这种短航程的作战任务。不过，第三代多用途战机逐步取代攻击机、成为未来空对地作战主力机型的趋势不会改变。

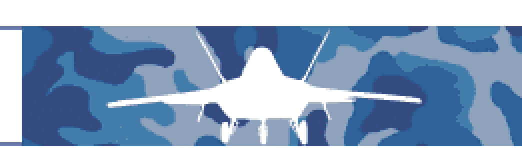
越战之后，以 AH-1“眼镜蛇”、AH-64“阿帕奇”、米 -24“雌鹿”等武装直升机为代表的旋转翼飞机逐渐成为近距空中支援的主力。武装直升机可在树梢高度悬停攻击，其装备的远程反坦克导弹、火箭弹和机炮能有效打击地面主战武器和步兵。20 世纪 70 年代，北约进行的一项相关模拟实验表明，直升机与坦克的战损比为 1∶17，对此苏军也有相似的结论。值得一提的是，为了与地面部队协同配合更为顺畅，武装直升机一般编配在陆军部队序列中，这也是当今世界各国均高度重视发展陆军航空兵的原因之一。

近年来，反恐作战促使攻击型无人机逐渐成为近距空中支援的主战平台。不过，从各国无人机的实战情况来看，攻击型无人机无论是指挥瞄准效能还是火力强度，仍无法替代常规航空力量。一旦执行近距支援的攻击无人机被敌方控制，后果不堪设想。

总而言之，在未来，任何一种空中作战平台都无法包揽近距空中支援的任务，联合部队指挥官需要学会整合不同类型飞机的能力以达成作战目的。


美国 A-10“雷电Ⅱ”攻击机


俄罗斯苏 -25“蛙足”攻击机




美国 AH-64“阿帕奇”武装直升机

打击效果

如今，美军联合终端攻击控制员普遍使用地面激光目标指示器对目标进行照明，作用距离最远可达 20 千米，机载激光制导武器利用这种能量进行制导以攻击目标。美军装备的“宝石路”激光制导炸弹、AGM-65“小牛”和 AGM-114“地狱火”激光制导导弹可以达到 1 米左右的精度，除了精度高之外，近年来出现的小直径炸弹能够在减少附带毁伤的同时，提高打击目标的数量。

尽管如此，常规弹药并不会因此退出历史舞台。根据演习和实战数据统计显示，在近距空中支援作战中，机枪和机炮的打击效果最好。另外，即使精确制导弹药的精度再高，由于机载武器投放的不确定因素仍无法彻底消除，导致误伤事件经常出现，这也是常规弹药将被持续运用的原因之一。


美军勤务人员正在为战机装载 AGM-65“小牛”导弹



NO.84 实施近距空中支援时地面引导人员有何作用？

战斗中，对于在地面苦战的士兵们来说，近距空中支援非常重要。不过，在战线犬牙交错、我中有敌、敌中有我的复杂战况中，近距空中支援存在误伤己方的可能，这时候，地面引导近距空中支援就成了战场上的一项重要工作。

虽然飞机在空中可以比地面人员看得更远、更全面，但是飞机的速度太快，往往还没有看清楚目标就迅速飞了过去，更别提识别敌我了。

地面引导人员（终端控制员）虽然没有飞机那样的高度优势，但是他们跟地面士兵同处一个战壕，能够最直接地了解到士兵们需要什么样的火力支援，哪些敌方目标需要优先打击，哪里是敌人，哪里是自己人。因此，地面引导人员可以提高近距空中支援的打击效率，同时避免误伤己方。

值得一提的是，这些地面引导人员虽然长期在地面跟陆军、海军陆战队的地面作战人员混在一起，身份却是不折不扣的空军，有些人甚至是攻击机飞行员出身。美国陆军和空军因为近距空中支援引导的问题还曾产生过不小的矛盾，陆军想要把引导工作掌握在自己手里，毕竟是为陆军作战提供支援，但空军不甘于受陆军的指挥，最后，虽然厘清了各自的责任，由空军人员负责地面指挥引导，但是两大军种的矛盾还是为其埋下了很多变数。

美军地面引导人员正在引导战斗机



在伊拉克战争时，就因为美国陆军和空军的矛盾，空军拒绝为陆军提供支援，无奈之下，陆军只能在武装直升机的掩护下，发起进攻。不过即便如此，也就是在空军已经获得了制空权的情况下，陆军才能如此任性，要知道，面对固定翼战斗机，直升机基本没有招架之力。



美国 A-10“雷电Ⅱ”攻击机发射导弹



美军轰炸机在伊拉克投掷 GBU-38 制导炸弹



NO.85　固定翼战机如何有效对付武装直升机？

专用武装直升机主要在接近地面的低空活动，其飞行速度较低，这就给雷达搜索造成了很大的麻烦。现代战斗机火控雷达和雷达制导空对空导弹都采用多普勒原理探测目标，速度是多普勒雷达系统搜索目标的重要数据。而直升机的低速度恰恰可以抵消多普勒雷达的搜索效果。单脉冲雷达虽然能够搜索低速目标，但受地面背景干扰严重，几乎不具备有效的背景目标检出能力。因此，专用武装直升机维持在低空进行低速运动，现代战斗机很难对其进行有效雷达搜索，雷达制导导弹的攻击有效性也很低。

美国 E-3“望楼”预警机对直升机的搜索能力很差，甚至具备动目标检测能力的 E-8“联合星”预警机对低空直升机的搜索跟踪效果也并不好。直升机利用战术机动和背景隐蔽措施，可以在大部分雷达搜索中处于“隐身”状态，也很少会受到远程导弹的攻击。直升机旋翼闪烁的反射信号变化很频繁，不易实现稳定跟踪，地面背景对雷达和红外反射都有影响，常规红外制导空对空导弹也不容易稳定跟踪目标。

固定翼战机攻击直升机的手段看似较多，但远程攻击的可用方法却乏善可陈，目视/直射武器或瞄准线（激光/电视）制导的效果相对



美国 E-3“望楼”预警机无法有效搜索直升机



比较明显。固定翼战机的飞行速度较快，转弯半径也比较大，除非能够在被直升机发现前实现掠袭攻击，否则提前得到预警的直升机很容易利用低空和低速隐蔽，使固定翼战机失去有效瞄准攻击的机会。根据马岛战争和海湾战争的实战效果，固定翼战机大都是通过突袭的方式击落直升机，海湾战争中甚至有用激光制导炸弹成功击毁直升机的例子。固定翼战机的飞行速度快，但其低空飞行高度也明显高于直升机，即使在低空也很难达到直升机的掠地高度。从直升机的角度看，可以认为固定翼战机处于天空背景下，使用对空导弹的直升机反倒可以获得更好的瞄准条件。

超音速战斗机反直升机的实战效果并不好，低速攻击机相对更适合攻击低空目标。但涡桨教练机这类战场飞机的防护力低，面对直升机的火力与生存性能不够协调，冷战时期的重装甲攻击机的攻防性能则比较均衡。美、苏在冷战中后期装备的 A-10“雷电Ⅱ”和苏 -25“蛙足”攻击机都在设计上考虑到攻击直升机的能力，强防护和低空机动性能的综合以及比较强的前向火力覆盖效果，都具备较有效的反直升机能力。A-10 和苏 -25 可以承担反直升机任务，但其机动飞行速度毕竟几倍于直升机。根据演习和模拟对抗显示，攻击机独立反直升机的效果并不理想，反到是将攻击机与专用武装直升机组合协同，利用后者在掠地高度驱逐敌方直升机，依靠攻击机在低空杀伤目标的立体攻击体系，在反直升机空战系统效能上更有潜力。

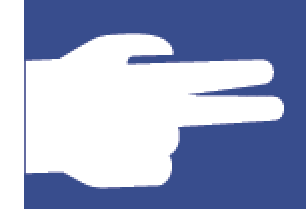


苏 -25“蛙足”攻击机具备攻击直升机的能力



满载武器的美国 A-10“雷电Ⅱ”攻击机


美国 AH-1“眼镜蛇”直升机在低空飞行

 NO.86 武装直升机空战与固定翼战机空战有何区别？

专用武装直升机对抗的特点是作战空域接近地面，由此造成的战术环境与固定翼飞机有相同点，但也存在明显差异。相同点是先敌发现和先敌攻击是获得主动权的基础，差异则是因为地形隐蔽条件，与采用雷达搜索目标的常规战斗机不同，接触双方发现对方的距离普遍存在差异，总有一方能够在理论上首先发现对方。同时，现有专用武装直升机的飞行性能差异很小，由于机载武器以直接杀伤为主，电子对抗和消极干扰的效果并不理想，对空导弹的射程也在其视线范围内。

由于对抗双方专用武装直升机的飞行性能差异难以拉开，占据位置优势的一方普遍可以获得攻击的主动权。直升机对抗很少存在单机格斗，大都是双 / 多机的编队突击，这也使数量在对抗中的作用非常明显，拥有数量优势的一方更容易取得战术主动权。

一般来说，武装直升机之间的空战主要分为以下几个步骤。

（1）发现目标。直升机在低空作战的可视距离近，不容易使用远程搜索装置寻找目标，主要采用机载红外搜索装置和目视观测来发现目标。直升机贴地飞行的速度不快，机载搜索系统的作用距离不大，机载武器射程普遍



要大于机载传感器的作用距离。空战中，谁先发现目标谁就会获得战术选择的优势，但因直升机的飞行灵活性很高，很容易利用地形条件摆脱跟踪。因此，为了保证战术上的优势，只要发现目标就不能让目标脱离视线范围。

专用武装直升机主要活动于超低空，依靠低高度并利用地形掩护实现机动。超低空掠地飞行的直升机目标特征小，对抗双方直升机互相发现的距离非常近，虽然在接触时往往进入了机载武器射程范围，但正因为接触时的距离太近，使飞行员很难马上获得有效的瞄准射击条件，发现目标后必须要有调整位置和接近的过程。

（2）接近目标。直升机的设计大都具备相似的机体布局。专用武装直升机的前下和前侧视野虽然较好，但目前任何型号的专用武装直升机旋翼都在机体上方，动力 - 传动系统位置在驾驶舱后，机体在驾驶舱后的宽度也会增加，这就使现有专用武装直升机都不具备全向视界。根据实际机型分析，专用武装直升机在后方存在垂直 150 度、水平 120 度的盲区，飞行员很难通过目视和设备填补盲区。专用武装直升机的机体后向缺乏光电观察装置，甚至旋翼轴上顶的全向雷达 / 光电转塔都难以覆盖后向空域。根据空战历史经验，被击中的飞机中超过 80% 是在发现对手前就被击中，直升机后半球盲区比固定翼战机更为明显，作战环境中也更容易受到突袭。单机对抗的模拟论证数据证明，缺乏编队掩护和 C3I 目标警告的专用武装直升机，有超过 90% 的目标在被击中前并没有发现对手的存在。

直升机机载武器射程不大，这就需要攻击方要尽可能接近目标后才能攻击，避免因为攻击距离过大脱靶而给敌方以警示。接近目标的最根本前提是隐蔽。攻击方要尽可能从目标侧 / 后方接近，利用对方搜索设备的盲区接近目标。现代直升机大都采用编队作战的方式，因此，在接近目标时必须保持


俄罗斯米 -28“雌鹿”武装直升机编队


英国 WAH-64 武装直升机开火

高度警惕，注意搜索四周以争取提前发现威胁的存在。

（3）攻击。有效攻击的要点是在瞄准后越快发射武器越有利。用尽可能短的时间向目标投放尽可能强的火力，从最远距离的对空导弹到火箭、航炮/机枪，在接近过程中采取连续突袭的战术，在目标被彻底摧毁前不间断地投放火力。

直升机的飞行速度和爬升率均不大，近战中很难依靠飞行性能摆脱被动，但维持必要飞行速度却有利于争取主动位置。因此，除非受到袭击或不可避免的危险，否则不要随便进行大幅度的机动动作，以免因为本机机动影响武器瞄准，或因过度消耗速度和高度导致被动。专用武装直升机在空战中要尽可能保证正面对敌，并争取处于敌方侧/后的攻击盲区，大量应用侧滑和横向机动动作，尽可能不采用垂直爬升这样位置相对固定的机动动作。

（4）脱离。完成攻击后的脱离同样要力求隐蔽迅速。空战历史经验证明，再好的飞行员也有松懈的时候。而在完成攻击后的脱离阶段，从极度紧张中放松下来时，最容易出现懈怠和放松，也最容易受到突然的袭击。很多空战“明星”都是在取得胜利后被突袭击落。

考虑到对抗双方都挂载对空导弹，背景干扰的效果与红外干扰同样有效。为了避免受到导弹的尾追攻击，被攻击一方很难有机会采用爬高或增速的脱离方式，同样的，攻击方在缺乏全向侦察条件的情况下，也不敢随便采用拉高这样增加暴露概率和增强目标特征的机动动作。如果没有编队战术配合或可利用的地形干扰，先脱离一方往往会暴露出致命的弱点，致使直升机单机空战的唯一结局几乎就是“不死不休”。


土耳其 T-129 武装直升机双机编队


美国 UH-60“黑鹰”直升机大编队

NO.87 武装直升机大编队密集强攻是否会被无人机的蜂群战术取代？

武装直升机本身具有强大的态势感知能力，桅顶毫米波雷达更是适合在隐蔽中观察战场。武装直升机还具有完备的数据链，有能力分发和接收信息。武装直升机可以依据自己的速度和特殊机动性，按需要迅速跃入空中，然后退回到隐蔽位置，或者改变位置，改善视界，以增加探测距离；或者改变观察角度，揭秘隐蔽目标。这是其他陆军观察通信平台不易做到的。当然，武装直升机不是简单的侦察平台，还可以作为战场空中机动指挥平台，引导打击，成为预警和指挥中心。

在现代战场上，战斗越来越激烈化、分散化、短促化、突发化，在特定阵地死守强攻的情况减少。传统武装直升机依然需要携带大量武器，在一次出动中大量倾泻，但更需要的是长时间徘徊于战场，密切监视敌人动向，随时引导打击。如果武装直升机主要依靠自身武器的话，很快就会遇到武器数量不足的问题。

最糟糕的情况莫过于在有利位置但弹药耗尽而被迫退出战斗，不仅打击中断，还有可能因为脱离接触而让敌人逃脱，或者让敌人隐蔽转入对敌人有

利而对自己不利的阵地。继续留下监视敌人直到友军接替才离开，这固然是一个办法，但手无寸铁地监视敌人非常危险，而且除了监视，也别无其他作用。

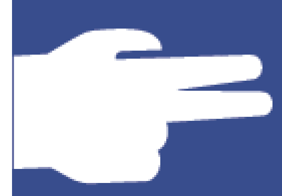
弹药不足是现代战场上常见的问题，不仅武装直升机有这个问题，从隐身战斗机到核潜艇，都存在这个问题。一般办法是发挥网络作战的威力，由处于隐蔽而靠前的有利位置上的侦察指挥节点组织体系内其他弹药充足的远程火力平台发动打击。只要适当的弹药在需要的时候准确地落到目标上，弹药来自哪里并不重要。

对于武装直升机来说，典型的远方火力可能是上级编成内的重型火炮，也可能是坦克的炮火或者步兵的导弹火力，甚至是应召而来的战斗轰炸机。从这点上来说，无人机的蜂群作战会有极大的概率在未来取代大编队的武装直升机。训练一个武装直升机的炮手与驾驶员的成本远高于给无人机编程，更何况无人机的造价也远低于武装直升机。


俄罗斯米-28“雌鹿”武装直升机大编队


土耳其 T-129 武装直升机编队





NO.88　太空战与传统战争相比有何特点?

所谓太空战是指敌对双方在外层空间进行的军事对抗或双方在宇宙空间为陆战、海战、空战提供军事支援，以陆地、海面（水下）、空中为平台对敌方航天器进行的攻防行动。

太空战是取得压倒对方的军事优势，保障实现战争计划的重要手段，其作战样式可采取“地对天”“天对天”“空对天”“天地一体”等形式。太空战是整个战争的一个重要组成部分，它可能发生在战争过程中、战争爆发前或战争初期。根据不同的目的、条件和时间，太空战担负的主要任务有侦察、预警、监视、定位、通信、弹道导弹拦截直至摧毁航天兵器等。

随着航空航天技术兵器的不断进步，太空战对高技术战争理论产生了重大的影响。美军认为，在未来几十年内，空间武器在对传统的陆海空战场的支援保障、反卫星和反弹道导弹等方面将获得进一步发展，从外层空间对传统战场的陆海空目标进行攻击将成为现实，“空天一体战”将成为必然，“天军”也将随之出现。在这一思想的指导下，美国空军把开辟空间战场作为其新世纪军事战略的重要组成部分，并期望由此获得航天优势、信息优势、全球攻击、迅速进行全球机动和敏捷的战斗支援等多项核心能力，强调以优势的军事航天力量确保控制外层空间，以把握未来战争的主动权。

太空战是典型的高技术战争，其特点主要表现在以下几个方面。

1）作战高度自动化

航天高技术是航天运载技术、航天材料、微电子技术、信息工程、计算机技术、光学遥感技术以及定向能武器和生物工程等高技术群体的综合产物，是集多种高新技术于一体的密集型信息化系统。可见，航天兵器是侦察系统、通信系统、指挥系统、控制系统、武器打击系统及供应系统等若干个系统互相联结而成的高度自动化系统，它可使太空战的作战行动形成一个高度协调的作战控制整体。从太空战的作战环境



1983 年美国总统里根发表著名的“星球大战”演讲

和执行的作战任务来看，它不是一项孤立的行动，而是地面、太空等多维空间整体高度协调的作战行动，也是一个高度自动化的过程。

2）作战高效性

太空战是一种以密集型高技术武器为基础的联合作战形式，它包括了双方的航天武器在外层空间所进行的对抗，如互相摧毁对方的卫星、洲际弹道导弹和天基平台，还包括航天武器与地面协同作战，如利用天基平台的定向能武器和动能武器摧毁地面的重要目标，或者用地面的高能武器摧毁外层空间的目标。此外，航天作战还可以利用空间系统为火炮、导弹、飞机、舰艇等提供敌方目标精确的位置并进行实时导航，直至准确攻击和摧毁目标；通过空间系统的侦察，及早地监视与发现敌人；甚至还可以利用空间系统改善武器装备的部署方式和作战距离，提高武器命中精度和毁伤程度，并可提供杀伤效果的信息，结合作战效果进行综合评估，等等，以此达到全空域协同作战的高效性。

3）维修保障难度大

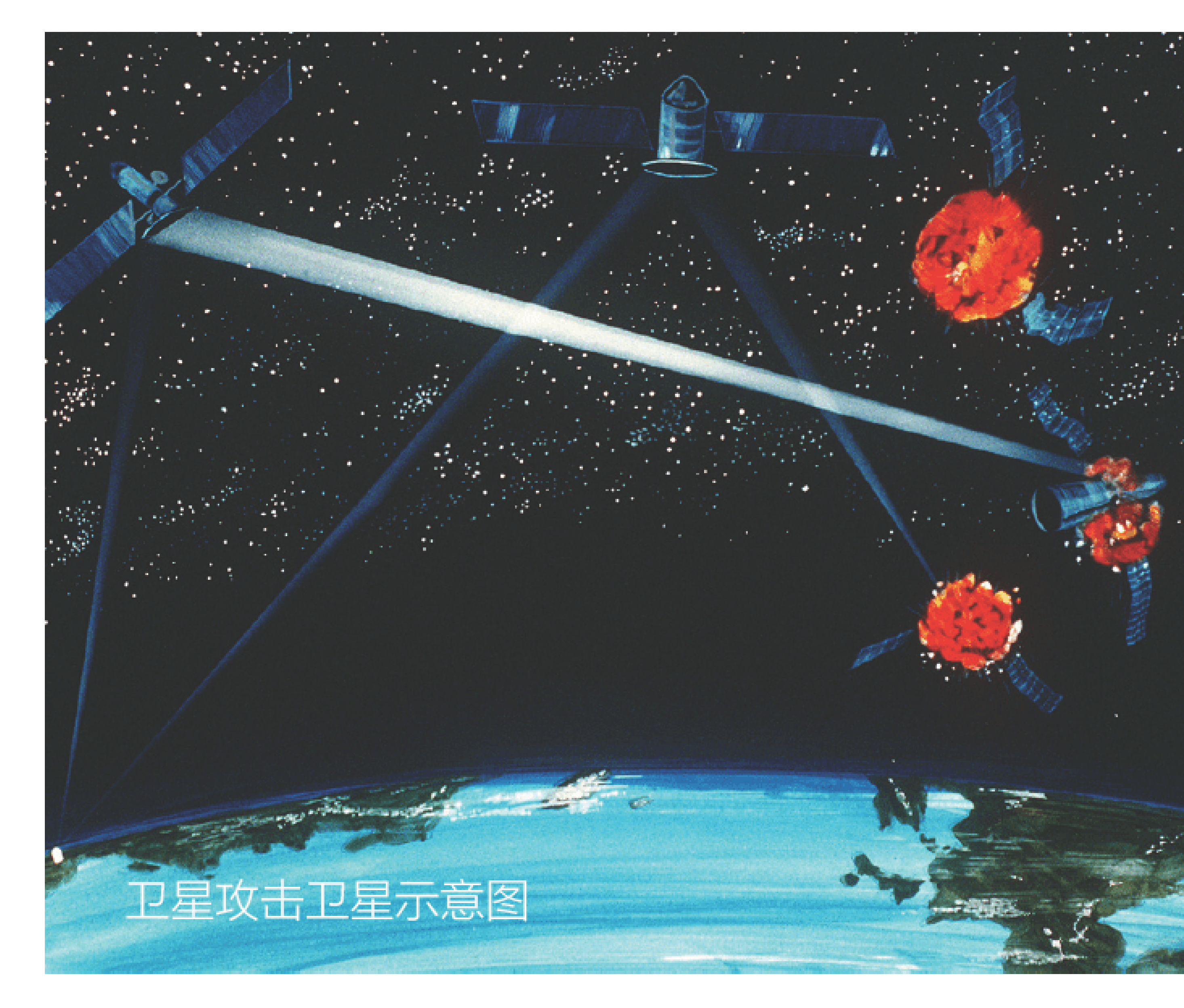
航天武器系统技术复杂，加之处于特殊的太空环境，有的设备较易损坏，故障时有发生，维修也显得十分困难。据统计，俄罗斯的“和平”号空间站在运行的 15 年中共发生了近 2000 次故障，其中近 100 次故障一直未能排除，站上的航天员约 2/3 的工作时间用于进行设备的保养和维修。可见，未来太空战的维修工作是十分繁重且复杂的。另外，由于航天兵器的物资给养需要从地球上通过多种途径供应，保障工作的难度非常大。例如，在“和平”号空间站与航天飞机的 9 次对接中，耗费了巨资，才完成 43 名航天员和 34 吨设备与补给品的运送任务。



美国空军利用全球定位系统辅助作战



4）对天军战斗人员的要求高


卫星攻击卫星示意图

军用航天器和太空武器的信息化、智能化程度极高，只需要很少的人员甚至无人操作即可作战，因此，未来的太空战中极有可能出现无人战斗或机器人对垒的场面。“技术越密集的战争样式，直接参战的人员越少”的战争规律在这里将得到进一步的体现。不过，“天军”战斗人员均为经过特殊训练的航天员，培训周期长，费用高。在通常情况下，他们的日常任务为对天、地情况进行观测、监视和识别，并从事太空战的运输、加注燃料、对航天器进行操作控制和维修等。在战斗情况下，任务更加艰巨。可见，“天军”战斗人员的科技素养、身心素质、工作、生活、医疗保障等的要求远较其他战斗兵员要高。



NO.89 美俄两国组建的“天军”有何特点？

正如船舶的发明必然导致海军的建立，飞机的出现导致空军的建立一样，军事航天技术的发展也势必产生一个新型军种——“天军”。

“天军”是独立于陆、海、空之外的新军种，是在宇宙空间作战的军队，其主要任务包括太空作战，支援空中、地面、海上作战和开发宇宙空间等。“天军”是一个多兵种的合成军队，除指挥机关和航天院校，还有许多兵种部队，大体包括太空舰队、地基部队、航天和空天飞机部队、火箭部队、C4I部队等。

太空舰队是太空空间作战部队；地基部队是“天军”的地面部队，是“天军”的基础和战略基地；航天和空天飞机部队是“天军”的战略预备队；火箭部队相当于“天军”的运输队，主要担负发射卫星、航天飞机、宇宙飞船、轨道站和其他太空飞行器，为太空舰队、太空工厂补充武器装备和各种作战、生活物资等；C4I部队是“天军”的大脑和神经系统，其任务是及时准确地搜集、处理、传递各种军事信息，保障“天军”指挥员的正确决策和对“天军”各部队实施有效地控制和及时正确地指挥。谁得到了太空，谁就占领了地球的

制高点；谁占领了制高点，谁就能获得战争的主动权。

美国空军自1947年正式成立以来，经过70多年建设，已发展成一支能“全球到达、全球作战”的空中力量。随着空间技术的迅速发展，美国空军决定在未来战争中将更多地依靠空间力量，由“航空”向“空天”转变，建立起一支快速、机动、高效的“天军”。美国空军于1982年成立了太空司令部（Air Force Space Command，AFSPC），1993年又建成了太空战争研究中心。2000年，美国空军颁布的《航空航天部队：保卫21世纪的美国》白皮书指出，美国空军将由现在的空战为主转变为既可空战、又可在太空作战的“航空航天一体化”的空军。这是美军第一次以纲领性文件的形式，确定本国“天军”计划。



美国空军太空司令部徽章



美国空军太空司令部现任司令
约翰·雷蒙德上将（2016年10月上任）

时至今日，美国建立“天军”的技术基本成熟，下一步，空军将着手“天军”人员操作航空航天器能力的培养，提高他们当“天军”的意识。美国的“天军”由战斗部队和军事航天员部队组成，监测战斗部队则由航天器及洲际导弹的监视人员、负责截击敌方导弹和军事航天器的作战部队组成。他们负责监视来自空中、水下和地面的洲际导弹，跟踪外层空间的敌方飞行器，发现情况及时预警，并由反卫星卫星、反卫星导弹、束能和动能武器等作战部队实施拦截作战。在美国空军的2025年设想中，提出到2025年要在外层空间部署太空战斗机部队，以便随时猎杀其他国家的航天器。

目前，美国空军太空司令部辖有两支编号航空队，即第14航空队和第24航空队。第14航空队总部位于加利福尼亚州范登堡空军基地，负责航天





约翰·雷蒙德上将（左三）视察第 24 航空队

领域，支持美国战略司令部和北美防空司令部。第 24 航空队总部位于拉克兰空军基地，负责赛博领域。



俄罗斯空天军徽章

美国的种种做法迫使俄罗斯迅速采取了措施，加快了“天军”的组建步伐。1992 年 8 月 10 日，俄罗斯太空军成立，1997 年并入战略火箭军。2001 年，俄罗斯太空军再次成立，2011 年，俄罗斯太空军改组为俄罗斯空天防卫军。2015 年 8 月 1 日，俄罗斯空军和俄罗斯空天防卫军合并为俄罗斯空天军。



NO.90 未来“天军”的主要作战武器是什么？

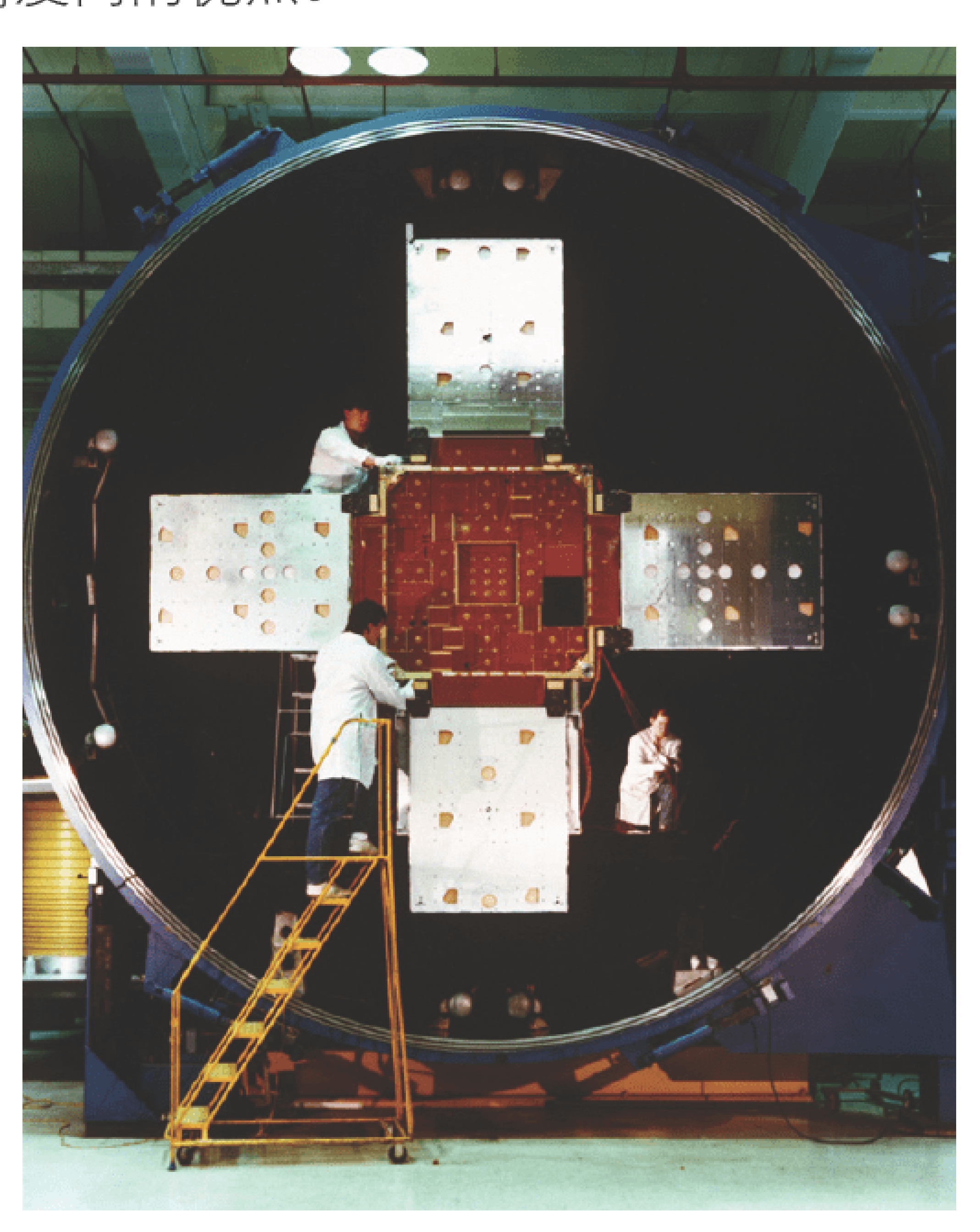
“天军”的主要作战手段分为软、硬两类。软手段是通过破坏对方天战兵器的光电仪器来毁伤目标，硬手段是直接摧毁航天器本身。以目前的技术水平及可能的发展来看，“天军”在太空战中所使用的武器主要有各类军事卫星、载人航天器、定向能武器、动能武器等；按其作战平台所处的空间分为天基和地基两大类。

定向能武器

定向能武器通过发射高能激光束、粒子束和微波束照射目标，使目标毁坏或丧失工作能力。定向能武器包括激光武器、粒子束武器和微波武器，部署平台有地基、空基和天基。定向能武器主要以热效应、冲击效应和辐射效应杀伤目标，具有能量大、速度快、精度高的优点。

（1）激光武器

目前，较成熟的定向能武器是激光武器。激光武器反卫星的方式通常有两种：一是利用高能量的激光完全摧毁卫星，二是利用低能量激光干扰和致盲破坏其光电传感器。由于卫星轨道容易探测到，光电仪器设备的破坏阈值较低，因而相对于战略反导激光武器而言，其技术难度较小，费用较低。


美国海军实验室的激光卫星模型机

激光武器的本质是利用光束输送巨大的能量，与目标的材料相互作用，产生不同的杀伤破坏效应，如烧蚀效应、激波效应、辐射效应等。正是靠这几项效应，激光武器成为理想的太空武器。这种武器可以装载在航天飞机之类的太空飞行器上，很容易用于进攻地面、天空或太空中的目标。

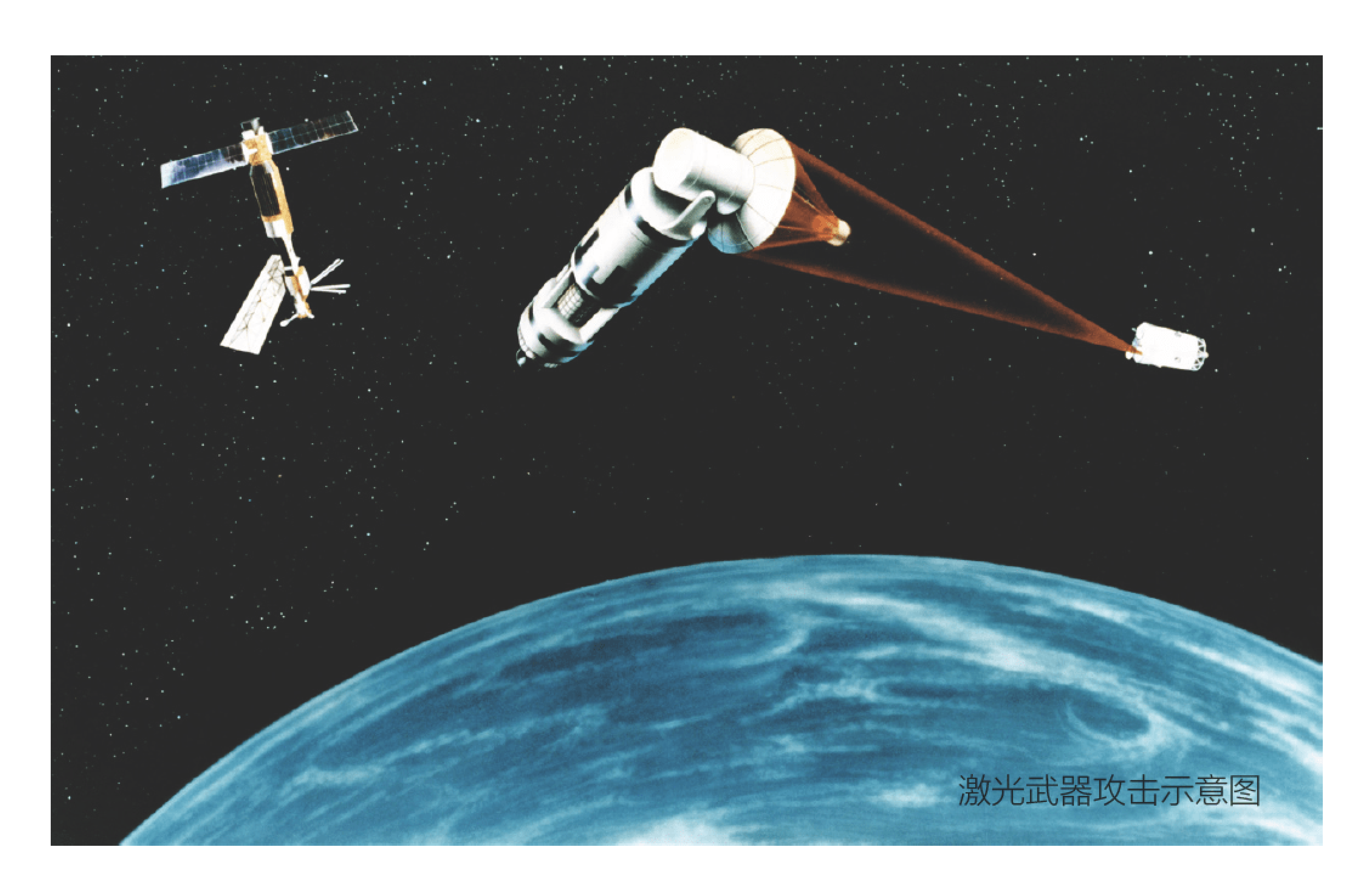
2）粒子束武器

它是利用粒子加速器原理制造出的一种新概念武器。带电粒子进入加速器后就会在强大的电场力的作用下加速到所需要的速度，这时将粒子集束发射出去，就会产生巨大的杀伤力。粒子束武器发射出的高能粒子以接近光速的速度前进，用以拦截各种航天器，可在极短的时间内命中目标，且一般不需考虑射击提前量。粒子束武器将巨大的能量以狭窄的束流形式高度集中到一小块面积上，是一种杀伤点状目标的武器，其高能粒子和目标材料的分子发生猛烈碰撞，产生高温和热应力，使目标材料熔化、损坏。

3）微波武器

微波武器由能源系统、高功率微波系统和发射天线组成，主要是利用定向辐射的高功率微波波束杀伤破坏目标。微波波束武器全天候作战能力较强，





激光武器攻击示意图

有效作用距离较远，可同时杀伤几个目标。特别是微波波束武器完全有可能与雷达兼容形成一体化系统，先探测、跟踪目标，再提高功率杀伤目标，达到最佳作战效能。这种武器既能进行全面毁伤、横扫敌方电子设备，又能实施精确打击、直击敌方信息中枢。可以说，微波武器是现代电子战、电磁战、信息战不可缺少的基本武器。

动能武器

所谓动能武器，是指能发射出超高速运动的弹头，利用弹头的巨大动能，通过直接碰撞的方式摧毁目标的武器。动能武器不是靠爆炸、辐射等其他物理和化学能量去杀伤目标，而是靠自身巨大的动能，在与目标短暂而剧烈的碰撞中杀伤目标。所以，它是一种完全不同于常规弹头或核弹头的全新概念的新式武器。

美国陆军自 20 世纪 80 年代以来一直致力于发展利用动能反卫星的武器系统。携带动能杀伤拦截器（KKV）的三级固体助推火箭从发射井发射，其末端制导采用可见光导引头，并运用推力矢量技术调整 KKV 的姿态和轨道，直至将 KKV 导向卫星。美国国家导弹防御系统的运用红外成像末端制导和推力矢量技术的动能拦截器也兼具反卫星的能力，这两种利用动能的反卫星武器系统已接近实战水平。

美国劳伦斯 • 利弗莫尔国家实验室提出了一种称为“智能卵石”的天基动能拦截弹方案。“智能卵石”集目标探测、跟踪、拦截等各种功能于一体，

可以由运载火箭或其他航天器运载，部署在环绕地球的各种轨道上。当“智能卵石”接收到攻击指令时，它上面的高性能计算机可以根据探测系统侦测到的目标数据，迅速计算出目标的精确位置和飞行轨道，并发出控制指令，控制拦截导弹目标发起攻击。“智能卵石”体积小、重量轻、成本低，便于大量发射升空。如果用运载能力为 5 吨多的美国“大力神”火箭发射，一枚火箭一次就可以向太空轨道部署“智能卵石”上百枚。“智能卵石”已经进行过地面上的试验。

电磁炮是利用电磁力发射高速弹丸的装置。美国国防部和美国空军正在进行一项名为“电磁轨道系统”的天基动能武器研究计划，由安装在模拟空间环境的真空室里的电磁炮发射的小型弹头的速度已达 8.6 千米 / 秒。电磁炮可用于拦截洲际弹道导弹和中低轨道卫星。由于电磁炮工程技术复杂，目前仍停留在实验室研究阶段。

太空雷

即使是极小的物体，只要速度够快，也能对卫星产生极大的破坏力。由此，太空雷的概念应运而生。太空雷是一种轨道封锁武器，由爆炸装置、引信、遥控系统和动力系统等构成，平时部署在空间轨道上，形成一定的障碍。当军事航天器进入雷区时，太空雷通过自身引信或地面的指令来引爆，以爆炸形成的碎片击毁航天器。太空雷可以预先部署，也可以机动部署。

太空雷的另一种方案是利用卫星携带大量的非机动小物体，在需要时从卫星释放出来，运行在地球轨道上，形成地球轨道封锁区。由于卫星和颗粒之间的相对速度高，所有经过的目标卫星都要遭到损害或毁坏。

太空雷方案是苏联为对抗美国星球大战计划而提出的，造价低廉，作用大。太空雷一旦部署，将会对轨道上的航天器造成灾难性的影响，后患无穷。目前，太空雷方案仅仅停留在实验室中，并没有实际部署，但未来仍是反卫星的一种选择。

太空核爆炸

高空核爆炸将产生两种后果：一是核爆炸所产生的高功率电磁脉冲能使卫星失效，二是核爆炸所产生的 X 射线、中子等辐射足以给附近的卫星产生严重的破坏。高空核爆炸能使近地轨道上各种卫星的寿命由几年缩短为几个月甚至更短。

研究表明，在南北纬 30 度以外的高空核爆炸可以影响 2000 千米高度以上轨道上的卫星，而南北纬 30 度以内的高空核爆炸可以影响 2000 千米高度



以下轨道上的卫星。这种攻击武器可以假借核试验的名义对卫星进行攻击。美国、俄罗斯等国已经拥有高空核爆炸反卫星能力。

电子攻击

对卫星进行电子攻击是一种低成本的“软”攻击方法，攻击的主要目标是通信卫星和其他卫星的通信、数据与指令链路。所有卫星通信系统的上行链路和下行链路都易受到干扰和欺骗，使卫星离开原轨道或者使其太阳能电池板偏离阳光方向。商业和民用卫星由于没有防护措施，很容易遭到电子攻击。由于有相当一部分的军事通信是利用商业和民用卫星来完成的，对这些卫星的攻击也将使军事行动的开展受到影响。



NO.91　流星体会对飞船产生什么威胁？

流星体是太阳系内颗粒状的碎片，其尺寸可以小至沙尘，大至巨砾；更大的则被称为小行星，更小的则是星际尘埃。由国际天文联会制定的官方的定义是：运行在行星际空间的固体颗粒，体积比小行星小但比原子或分子还大。英国皇家天文学会则提出较明确的新定义：流星体是直径介于 100 微米至 10 米之间的固态天体。

流星体具有各种不规则的外形，在太阳引力场的作用下，沿着各种椭圆形轨道运动，相对于地球的速度为 11 ～ 72 千米 / 秒，平均速度约 20 千米 / 秒，平均密度为 0.5 克 / 立方厘米。航天器在轨道上运行时，很容易遇到这些不速之客。

流星体具有很高的速度，如果它们与航天器相撞，撞击压力超过航天器表面材料的强度时，撞击点附近的物质会像流体一样流动。随后的压力释放过程，又使撞击体和被撞击体升温，温度达到足以使被撞击物质熔化和蒸发，其后果是在航天器表面留下撞击坑或形成穿孔。

流星体颗粒较小时，对航天器的主要危害是对表面的砂蚀作用，使其表面粗糙。稍大一些的流星体，就有可能使得航天器壳体出现裂痕，甚至表面被击损剥落，严重时可以透过壳体，对航天器内部设备和控制系统造成损伤。一般情况下，质量超过 1 克的流星体，在近地空间内与航天器相遇的机会极少，只要航天器具有一定的屏蔽防护设计，其危害是可以避免的。但是，当发生“流



流星体高速运动示意图

星暴”时，流星体对航天器的危害就不容忽视了。

当宇宙空间某个星系或星体发生剧烈运动时，会有大量的流星物质飞向地球，其密集程度就像雨点般袭来，这就是流星暴，又被称作“流星雨”。如果正常运行的航天器遇到流星暴，就要经历一场严峻的考验。1993 年，欧洲航天局的“奥林巴斯”卫星，就遇到了英仙座流星群爆发，卫星一度失去控制，飞行任务也不得不提前终止。



欧洲航天局“奥林巴斯”卫星





NO.92 世界航天史上发生过哪些重大事故?

1960 年 10 月 24 日，苏联拜科努尔航天中心火箭发射爆炸事故造成地面 100 多人死亡。

1961 年 3 月 23 日，被确定为苏联第一个首航太空的宇航员邦达连科在充满纯氧的舱室里进行紧张的训练，休息时，他用酒精擦完身上固定过传感器的部位后，随手将它扔到了一块电极板上，结果舱内燃起大火，他被严重烧伤，10 个小时后死亡，成为人类载人航天活动中第一个遇难的宇航员。

1967 年 1 月 27 日，美国肯尼迪航天中心在进行“阿波罗 1 号”载人飞船地面联合模拟飞行试验时，飞船指令舱意外起火，3 名航天员在几十秒内被烧死在舱内。

1967 年 4 月 23 日，苏联宇航员弗拉基米尔•科马罗夫上校乘坐“联盟 1 号”飞船进入太空后，飞船屡次出现故障，几经努力难以修复，在返回地面时飞船降落伞又出意外，无法打开，致使飞船以每秒 100 多米的速度冲向地面，科马罗夫当场遇难。

1971 年 3 月 30 日，苏联“联盟 11 号”飞船顺利完成进入“礼炮 1 号”空间站的各项任务后，在再入大气层前，实施返回舱和轨道舱分离时，连接两舱的分离插头分离后，返回舱的压力阀门被震开，密封性能被破坏，返回舱内的空气从该处泄漏，舱内迅速减压，致使 3 名宇航员因急性缺氧、体液沸腾而死亡。



“阿波罗 1 号”飞船的内部被烧焦



在“阿波罗 1 号”事故中牺牲的美国航天员

1980 年 3 月 18 日，苏联普列谢茨克航天发射场火箭发射爆炸导致地面 50 名技术人员丧生。

1986 年 1 月 28 日，美国“挑战者”号航天飞机在第 10 次飞行时，在升空第 73 秒后，由于右侧助推火箭密封装置出现问题，造成燃料外泄，航天飞机发生爆炸，7 名航天员当场遇难。

1990 年 9 月 7 日，美国“大力神”4 型火箭在爱德华兹空军基地搬运过程中，一个助推器突然坠落，发生爆炸起火，火焰高达 45 米，造成至少 1 人死亡。



美国“挑战者”号航天飞机爆炸瞬间

1998 年 8 月 12 日，一枚运载美国军事间谍卫星的“大力神 4 号”火箭在佛罗里达州卡纳维拉尔角发射升空时发生爆炸，造成美国历史上最重大的损失，该卫星价值 10 亿美元。

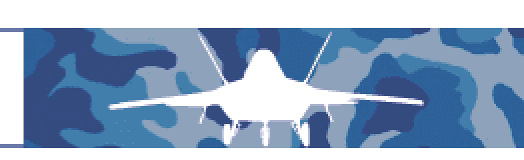
2002 年 12 月 11 日，欧洲航天局的“阿里亚娜”5 型火箭在库鲁发射场发射不久后发生爆炸，火箭及其携带的两枚价值 6 亿美元的卫星坠毁在大西洋中。

2003 年 2 月 1 日，美国“哥伦比亚”号航天飞机在从太空返回地面途中解体，机上 7 名宇航员全部遇难。

2003 年 8 月 22 日，巴西第三枚 VLS 型卫星运载火箭在发射前进行的最后测试中爆炸，至少造成 21 人死亡。



美国阿灵顿国家公墓中的“哥伦比亚”号航天飞机事故纪念碑





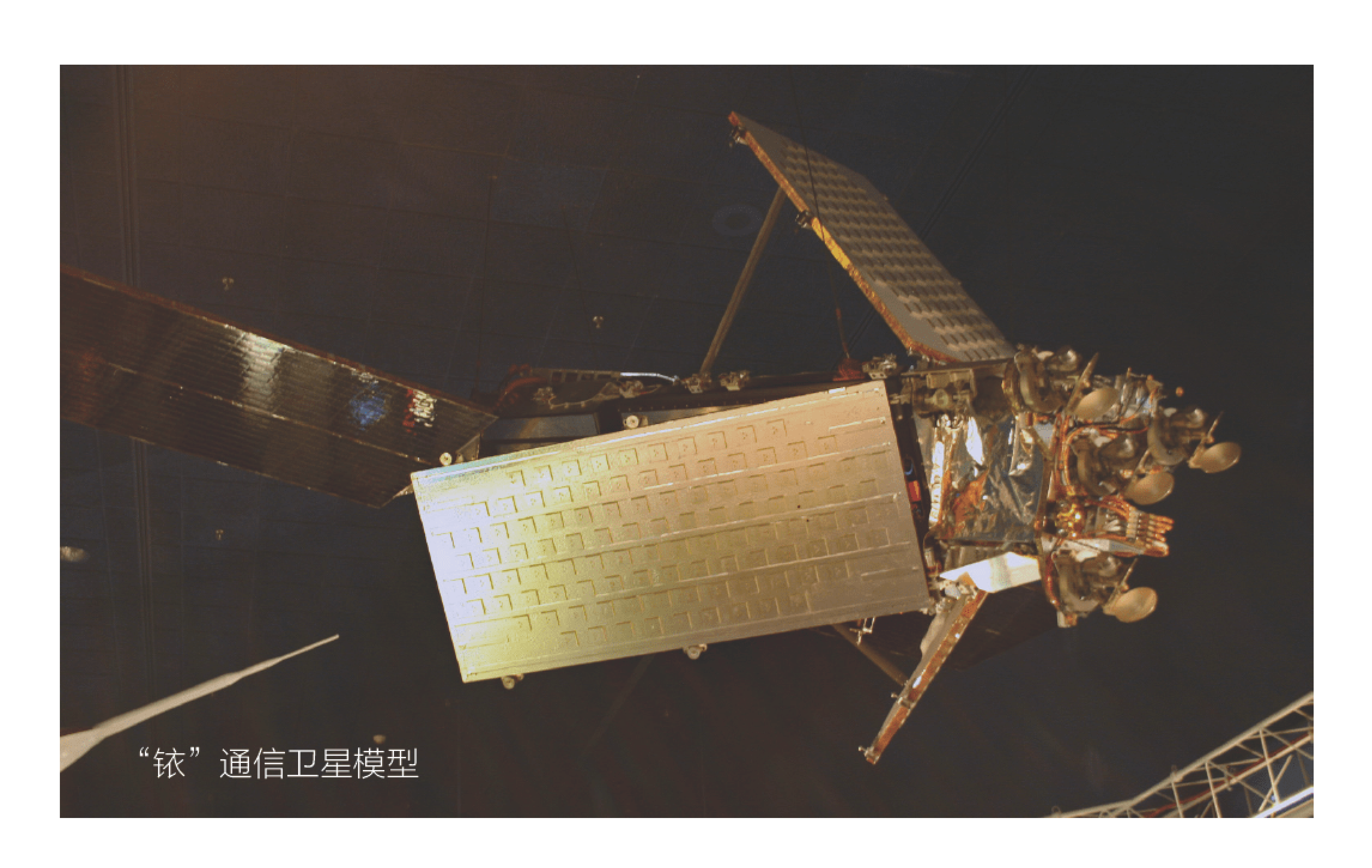
NO.93 人类航天史上第一次卫星相撞事故的原因是什么？

2009 年 2 月 9 日，美国“铱”通信卫星星座的 33 号卫星（Iridium 33）和俄罗斯的报废卫星“宇宙 2251”（Cosmos 2251）在 780 千米高度相撞，两星顿时化为两团碎片云，继续在轨道上飞行。这是人类航天史上第一次发生正式的卫星相撞。

当事卫星简介

1997—1998 年，美国铱星公司发射了几十颗用于手机全球通信的人造卫星，称为“铱”星。设计之初打算发射 77 颗卫星环绕地球运行，其轨道很像元素铱的原子结构，于是得名。后因为成本太高而改为 66 颗卫星，名称未变。这次发生碰撞的 33 号“铱”星发射于 1998 年。

“宇宙 2251”卫星属于苏联的“天箭座 2”通信卫星星座系列，这个星座的设计思想和“铱”系统非常相似，都是用数个低地球轨道面上的数十颗卫星提供全球通信覆盖。“天箭座 2”的具体星座结构和“铱”星有所不同，它采用 3 个轨道面，倾角都是 74 度，各轨道面间隔 120 度，各卫星近地点在 780 千米左右，远地点在 800 千米左右。“天箭座 2”星座从 1970 年就开始发射，比“铱”星早了 20 多年，到 1993 年退役时，“天箭座 2”先后发射了 59 颗卫星，其中 3 颗未能入轨。“宇宙 2251”卫星服役时的轨道高度


“铱”通信卫星模型

为近地点 778 千米、远地点 803 千米。

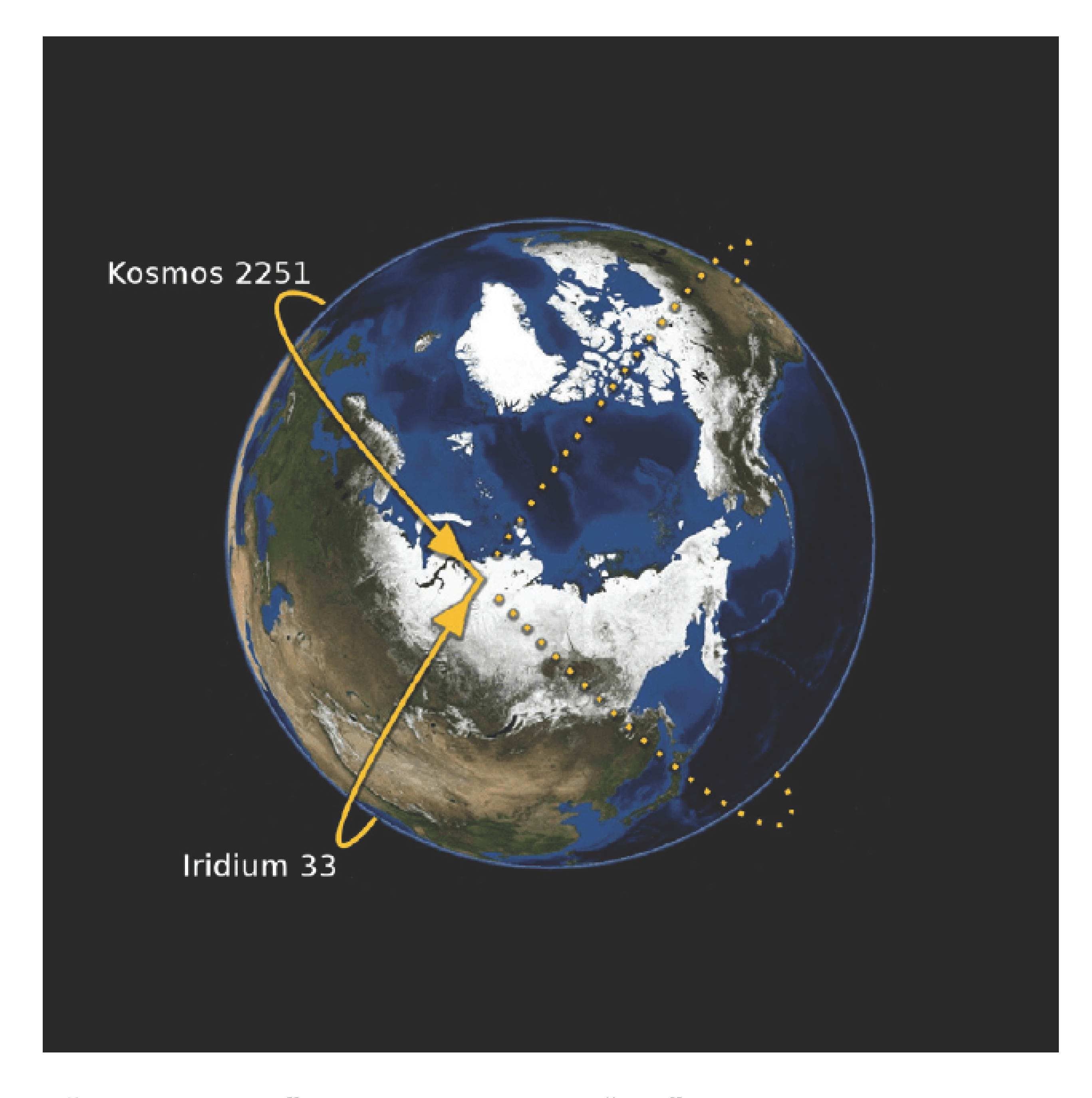
由于苏联卫星的纬度比较高，因此利用地球静止轨道卫星通信时仰角很低，比较容易受地物遮挡，效果不理想。所以，苏联通信卫星的轨道设计比较特殊，除了著名的“闪电”轨道外，也倾向于利用低轨道，“宇宙 2251”卫星就是一个例子。

事故原因分析

在迄今为止人类发射的航天器中，很多都运行在 800 千米左右高度的轨道上。这个高度的太阳同步轨道对气象观测、遥感、移动通信都非常适合。因此，人类历史上第一次太空“车祸”发生在这个高度，也是完全正常的。

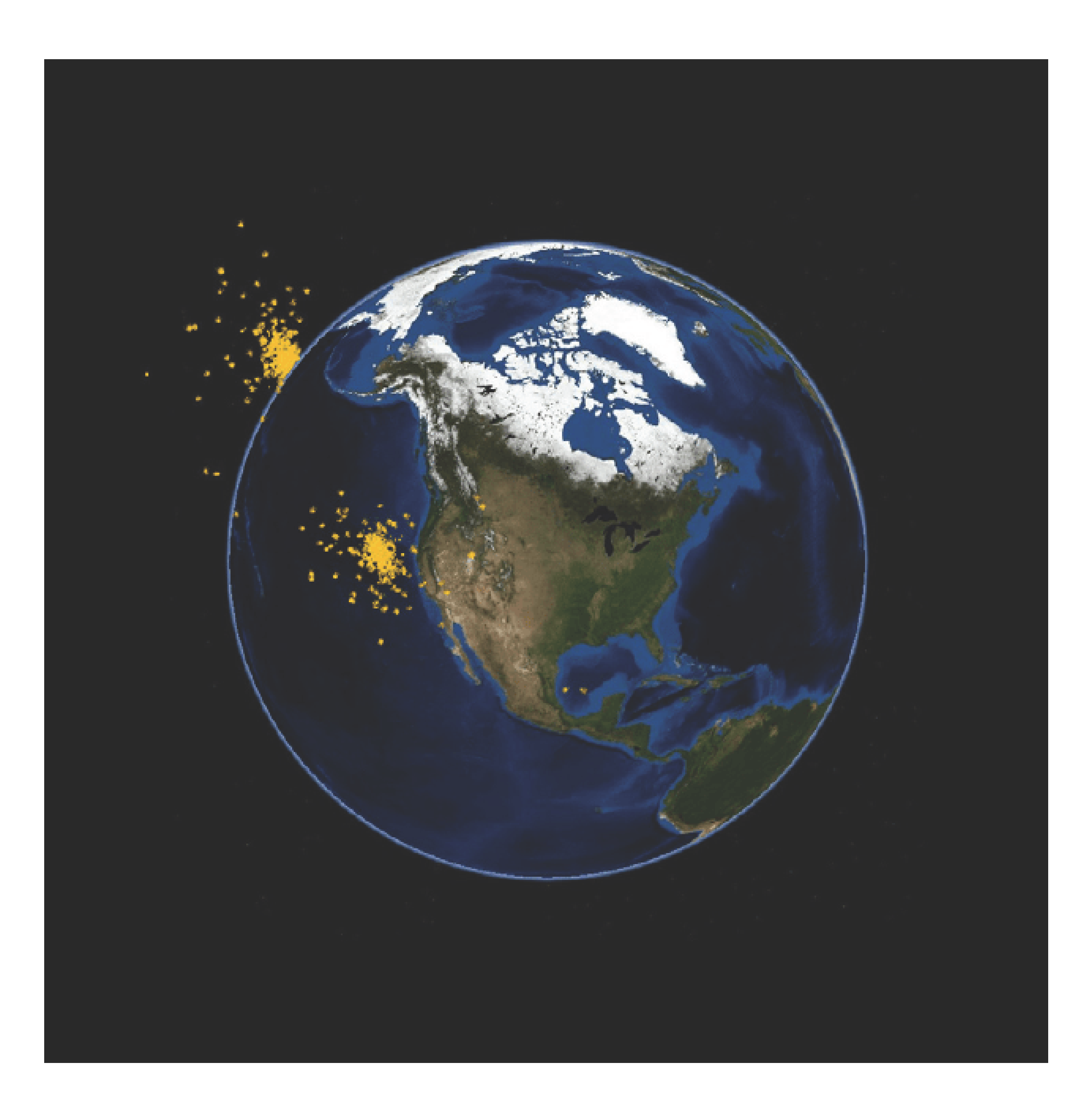
任何卫星发射前，设计师们都要为它设计轨道，其中特别要根据已知的在轨物体情况精确计算，让自己的卫星避开其他卫星和太空垃圾。卫星一旦入轨，会按照设计好的参数稳定运行，正常情况下不会发生碰撞。“宇宙 2251”卫星原本运行在近地点 778 千米、远地点 803 千米的轨道上。它于 1993 年 6 月 16 日发射，其后发射的航天器都要考虑避让它，包括“铱”系统各卫星。既然如此，为什么“宇宙 2251”卫星和 33 号“铱”星还会相撞？

事实上，在 800 千米的高度依然存在着很稀薄的大气，其密度当然不能供人类呼吸，也不能给飞行器提供有效的升力，不过还是能给航天器造成一定的阻力。这个阻力虽然很小，但是日积月累就会使航天器的动能逐渐损失，

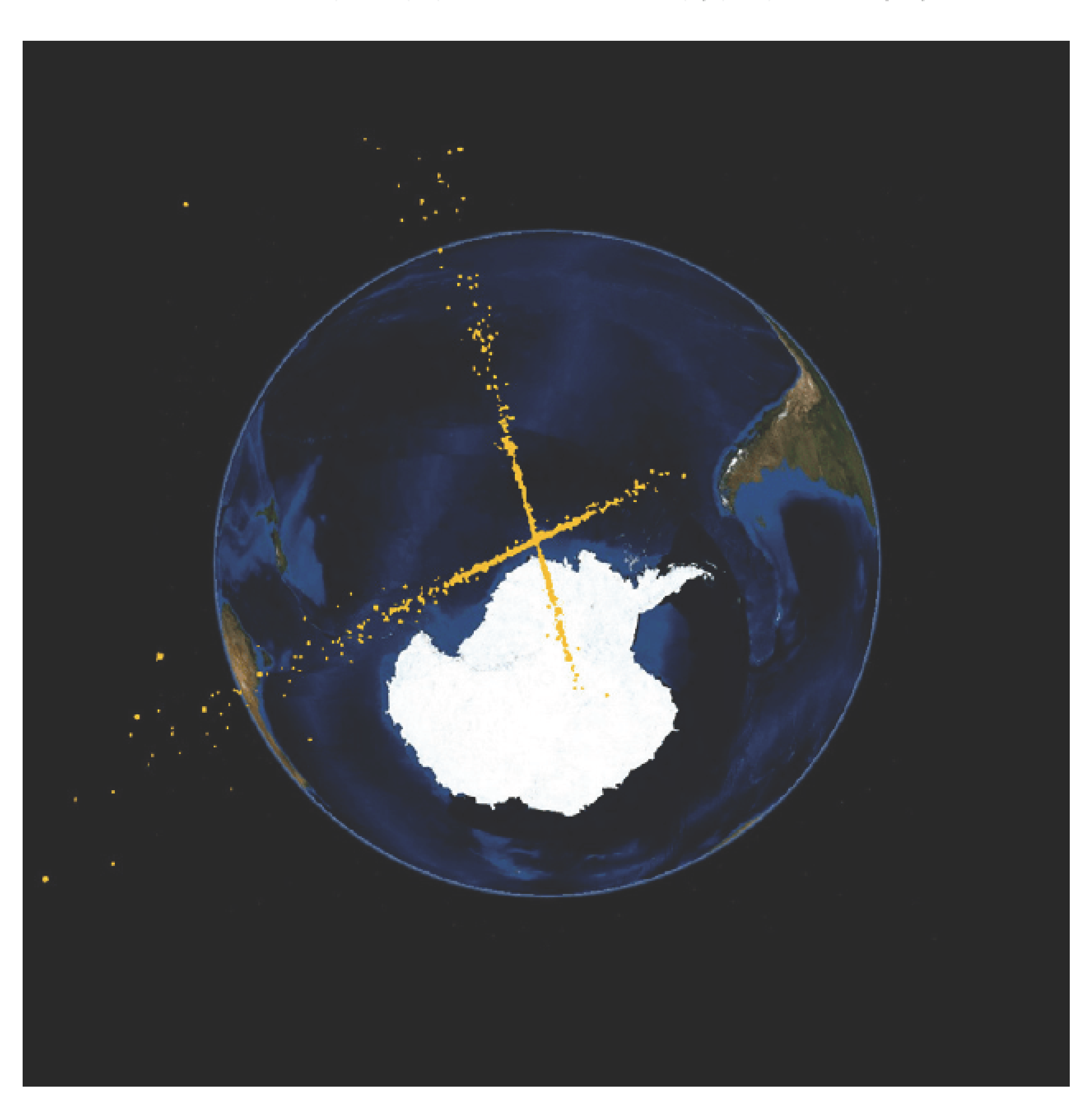


“宇宙 2251”卫星和 33 号“铱”星碰撞位置示意图





碰撞 20 分钟后的卫星碎片散布示意图



碰撞 50 分钟后的卫星碎片散布示意图

导致其高度下降。“宇宙 2251”卫星很有可能在 10 多年的运行过程中下降了一点高度，虽然幅度不大，但已足够使它与 33 号“铱”星相撞了。当两星同时运行到那个轨道交点上，人类航空史上第一次“车祸”就发生了。用公路交通的概念解释，就是“宇宙 2251”卫星和 33 号“铱”星同时过交叉路口时都没有避让，于是相撞。

NO.94 载人飞船在轨期间出现故障如何返回地面？

载人飞船在轨运行期间，由于故障需要应急返回时，如何返回地面呢？这就要看发生故障时地面测控站的测量控制与跟踪情况了。

如果飞船在地面测控站的控制范围内，测控站可以向飞船注入返回参数和控制指令，控制飞船落入预先设计的应急着陆区。如果飞船发生故障时，不在地面测控站的控制范围内，便无法得到地面测控站的支持，只能由航天员根据飞船上面的仪表显示，自主决定并通过人工操纵的方式实施应急返回。

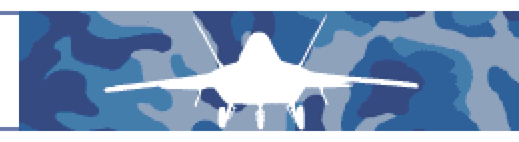
根据故障等级及其对航天员的危害程度，飞船在轨道运行段的应急返回模式有 3 种。

（1）等待返回。飞船在运行段出现故障后，在可能的情况下，依靠其自身能力，适当等待一段时间，使飞船在国内的应急着陆区着陆。这种情况下，等待时间最长不会超过 18 小时。

（2）稍候返回。飞船在运行段出现故障后，如果不能等待很长时间，只能尽量依靠其自身能力，稍候一段时间，使飞船能在发生故障后连续的 2

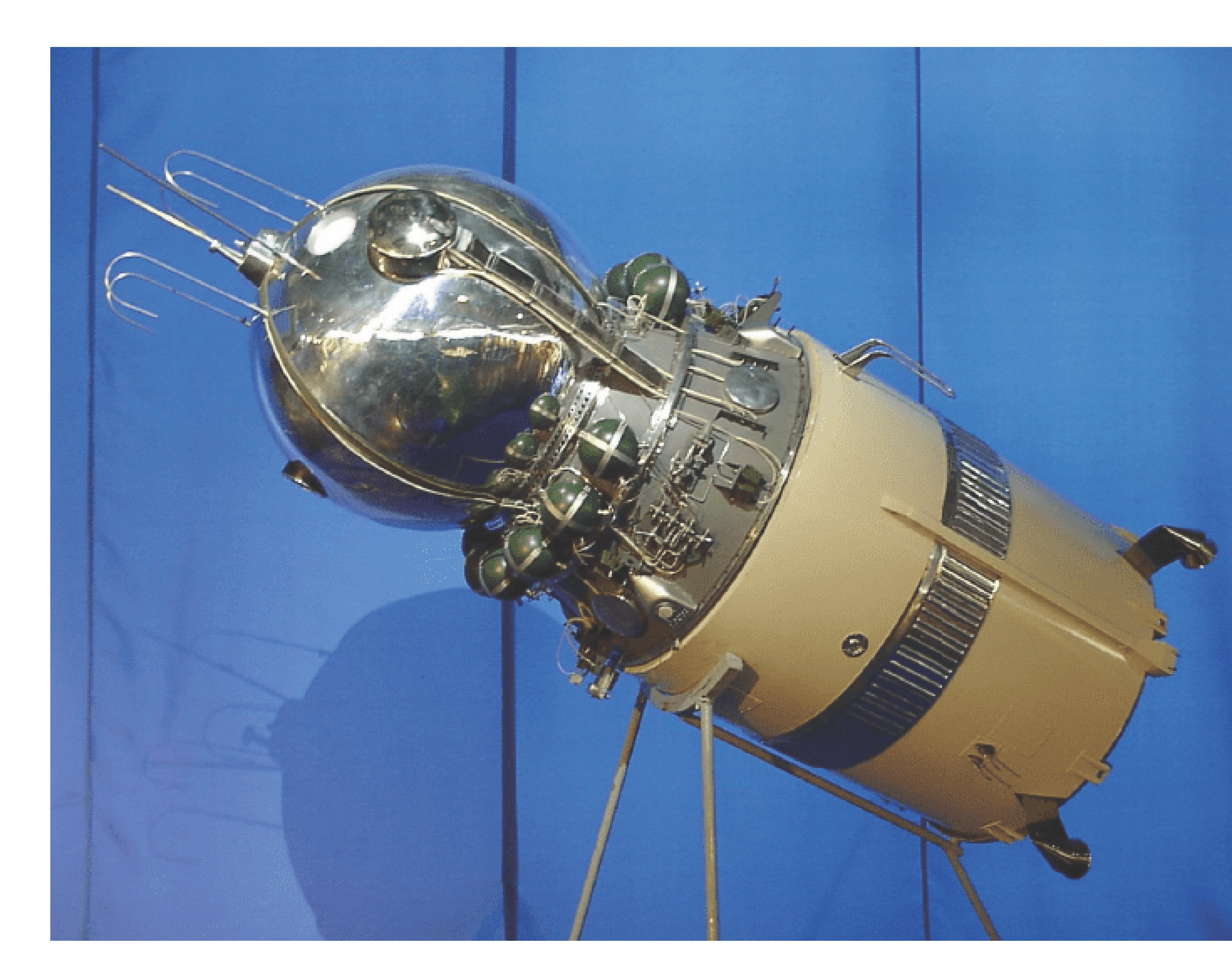


美国约翰逊航天中心正在监测“双子星座”号宇宙飞船的运行情况



圈内选择应急着陆条件较好的一个着陆区着陆。这种情况下，等待时间最长不会超过 6 小时。

（3）立即返回。飞船在运行段出现故障，情况紧急，必须尽快返回时，可在其后的第一个来得及着陆的应急着陆区着陆。这种情况下，等待时间最长不会超过 2 小时 14 分钟。

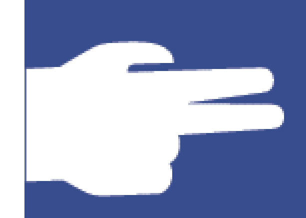


苏联“上升”号宇宙飞船模型

相较而言，等待返回等候的时间一般要长一些，能够保证飞船在国内着陆，着陆条件相对较好；与等待返回相比，稍候返回等候的时间一般要短些，着陆条件有可能要差一些，且不能保证在国内着陆；立即返回等候的时间最短，但着陆条件也可能最差。

美国“阿波罗 17 号”宇宙飞船


俄罗斯“联盟”号宇宙飞船



NO.95 美国“哥伦比亚”号航天飞机解体的原因是什么？

2003 年 2 月 1 日，美国“哥伦比亚”号航天飞机在返回地面过程中解体，机上 7 名航天员全部遇难，成为 16 年前“挑战者”号航天飞机失事以来最大的一次航天事故。

美国国家航空航天局（NASA）立即成立了“哥伦比亚”号事故调查委员会，成员包括诺贝尔奖获得者、美国斯坦福大学道格拉斯·奥谢罗夫教授等多位权威专家。调查委员会工作了数月，对整个飞行数据进行了详细的分析，查明了事故的原因。

根据航天飞机设计指标和多次飞行的实测数据，航天飞机在整个再入过程中，铝结构平均每分钟温升约 1.2℃，但“哥伦比亚”号显示的数据却十分异常：再入第 2 秒时，航天飞机到达 102 千米的高度，一般认为该处为气动加热开始阶段，此时尚看不出异常；第 8 秒时，虽然未进入高加热时段，但温度传感器已发现左机翼起落架温度异常升高，到第 10 秒时左机翼温度已上升了 15℃；第 13 秒时，休斯敦任务控制中心失去温度传感器数据，根据机翼铝结构的最高设计温度为 175℃推断，所用传感器量程不应在 200℃以上，



此现象说明结构温度已达175℃以上；第15秒时“哥伦比亚”号在61千米高度，机长里克·赫斯本德与地面作了最后一次应答，便在一片噪声中失去联络，紧接着目击者和雷达发现“哥伦比亚”号解体为无数碎片。从以上数据不难看出，是左机翼上的防热瓦失效导致了航天飞机的最终解体。

那么，左机翼上的防热瓦如何会失效呢？这使人想起航天飞机起飞时曾发生过的一幕：它的左机翼前缘遭受外贮箱上脱落的一块泡沫塑料的撞击。根据起飞时的摄像记录（摄像机当时与航天飞机相距40千米），起飞后57秒从外贮箱上脱落了一块泡沫塑料，该泡沫塑料约0.76千克，长度不大于1米，厚6毫米，以20度攻角、700米/秒的速度撞击了左机翼前缘。同时，根据记录，当时的噪声水平高于正常值。



“哥伦比亚”号航天飞机被运输到发射台3

这样一次当时被认为无关紧要的“轻微”撞击，是否就是破坏防热瓦的罪魁祸首呢？事故调查委员会用地面试验复现了防热瓦被撞坏并最终导致机毁人亡的全过程。

按照上述起飞时撞击过程的参数（如泡沫塑料大小、撞击速度和角度等），以备用的航天飞机机翼作试验件，果然机翼前缘被撞出约25平方厘米的孔洞。再用等离子加热高温气流模拟再入气动热，实验结果表明，防热瓦很快从被撞坏处烧毁。机翼前缘防热瓦是一种碳纤维增强复合材料，破坏的过程是：材料基体碳首先破坏，然后碳纤维松散，最后整个部件被破坏。地面试验完全复现了防热瓦被撞坏并导致防热失效的全过程。

航天飞机在发射时，中间最大圆柱体部分就是外贮箱，由液氧箱、液氢箱组成。外贮箱主要给航天飞机上的主发动机提供推进剂，航天飞机入轨前，外贮箱推进剂耗尽，箱体与航天飞机解锁自行降落，再入大气层时烧毁。由于外贮箱内存放的是液氢、液氧。液氢、液氧存放的温度应分别低于－253℃

和－183℃。箱内温度升高，会使液氢、液氧汽化，使贮箱内压增大而破坏贮箱。所以贮箱外要包覆一层绝热性极好的泡沫绝热材料。这层绝热材料一方面保持箱内低温，另一方面也使箱外表面温度不会过低，防止大气中的湿气在贮箱表面结冰。



“哥伦比亚”号航天飞机最后一次发射升空

绝热泡沫材料脱落的主要原因在于它与贮箱的连接方式。这层绝热材料与贮箱外表面用胶层粘接，实际工程实施中，这么大面积的胶接面很难避免个别脱胶和胶层内存在气泡的现象。航天飞机发射后，在上升段逐步加速过程中，高速气流与表面的摩擦会使这层绝热材料温度升高，胶层内残留的气体因温度升高而膨胀，导致泡沫绝热层局部脱落。

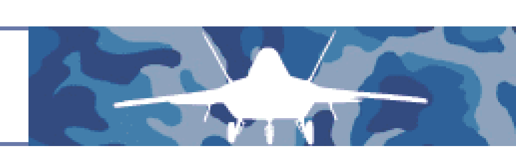


“哥伦比亚”号航天飞机降落在肯尼迪航天中心

既然发射段贮箱外表面温度升高和胶层内的气泡都难以避免，那么泡沫绝热层的脱落问题也就难以杜绝。



在“哥伦比亚”号航天飞机解体事故中牺牲的航天员



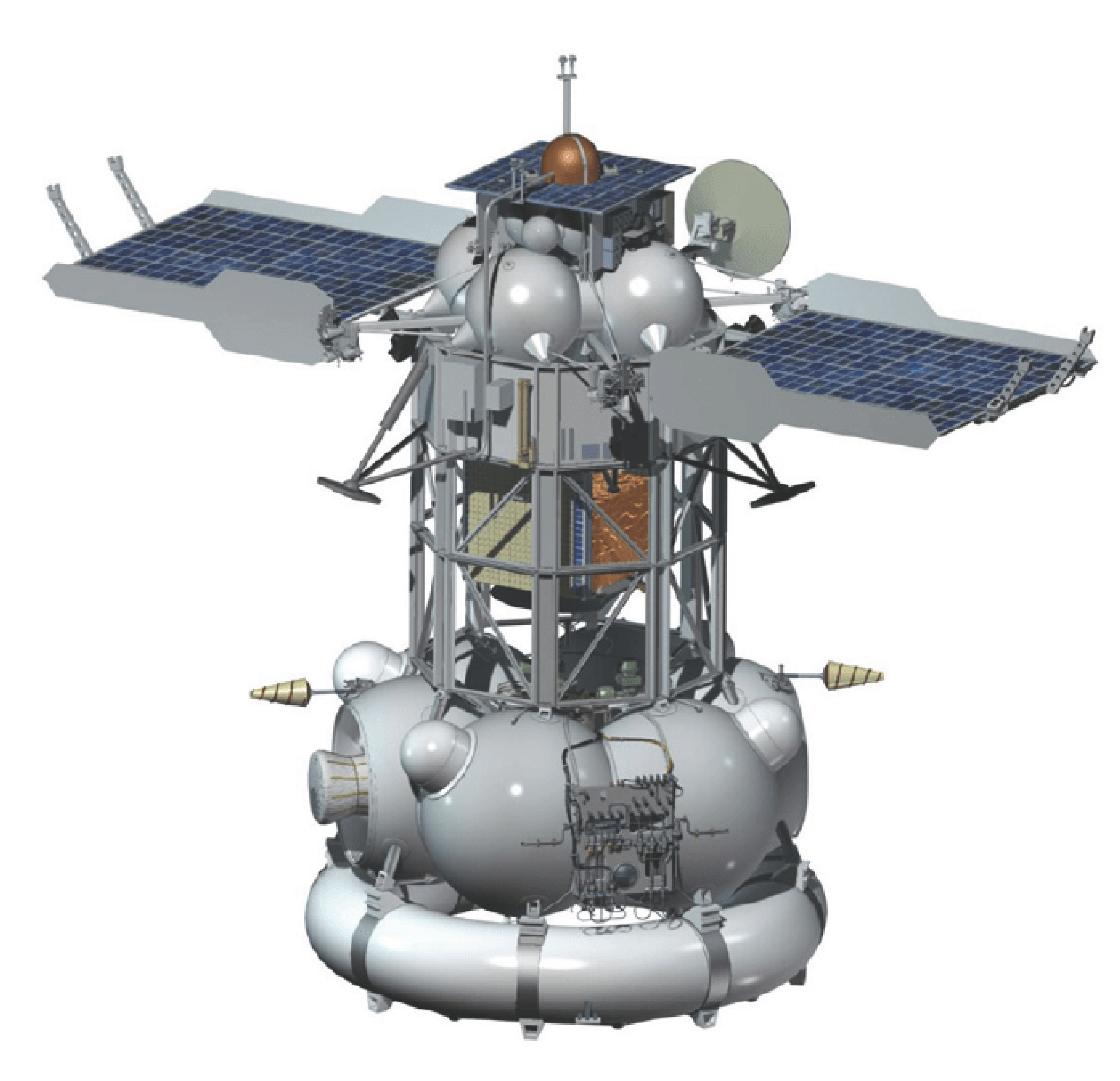


NO.96 世界各国如何消除失效航天器坠地威胁？

据统计，截至2018年世界各国累计发射了超过6000颗卫星。一颗卫星如果在失效后仍沿轨道飞行，就存在和新卫星相撞的危险。因此，国际条约规定轨道高度在2000千米以下的卫星须在结束使命后25年内落地销毁。卫星结束使命前会收到让其降低高度的命令，最终坠向地球。当然，因故障失控而自然坠落的卫星也不占少数。例如，2011年时在役的美国"高层大气研究卫星"和德国"伦琴"天文卫星就先后坠入地球大气层；2012年1月15日，因故障而停留在地球轨道的俄罗斯"火卫-土壤"探测器也坠落在太平洋智利海岸附近。

数据显示，从20世纪70年代到80年代，每年约有200枚火箭和卫星坠落，21世纪初每年也有50枚左右。世界各国一直在研究使失效航天器安全落地的技术。一般来说，科学家在设计航天器时，会想办法让航天器在扎进大气层时尽量燃为灰烬，比如，不用钛等不易熔化的金属等。

失效航天器坠入地面的过程较复杂。当失效航天器飞行轨道降低到120千米高度时，由于大气密度较大，所以其轨道高度会迅速降低再入大气层，并在气动热和气动力的作用下解体。当航天器距地面100千米时，其太阳电池翼、大型天线等航天器本体表面的大型装置将在大气阻力作用下率先撕裂，与航天器本体分离。当航天器离地面80千米时，由于航天器与大气层的剧烈摩擦，使航天器的温度进一步升高，所以航天器本体结构也开始解体。解体后形成的碎片大部分在与大气层摩擦产生的高温中烧尽，只有一些较大的部件或采用钛合金的设备则会残留一部分撞击地面，其中较大的碎片飞行距离较短，较小的碎片飞行距离较长，所以碎片会沿再入的轨迹方向散布在一个狭长的区域，散落区域长度一般数千千米，宽度约数百千米。



俄罗斯"火卫-土壤"探测器3D图

小贴士

根据美国战略司令部空间监测网的数据，截至 2018 年已监测到超过 21800 个人造飞行物坠入大气层，但这些失效航天器的绝大部分在进入大气层时已经解体并燃烧殆尽，只有约 1% 因体积较大而坠向地表。

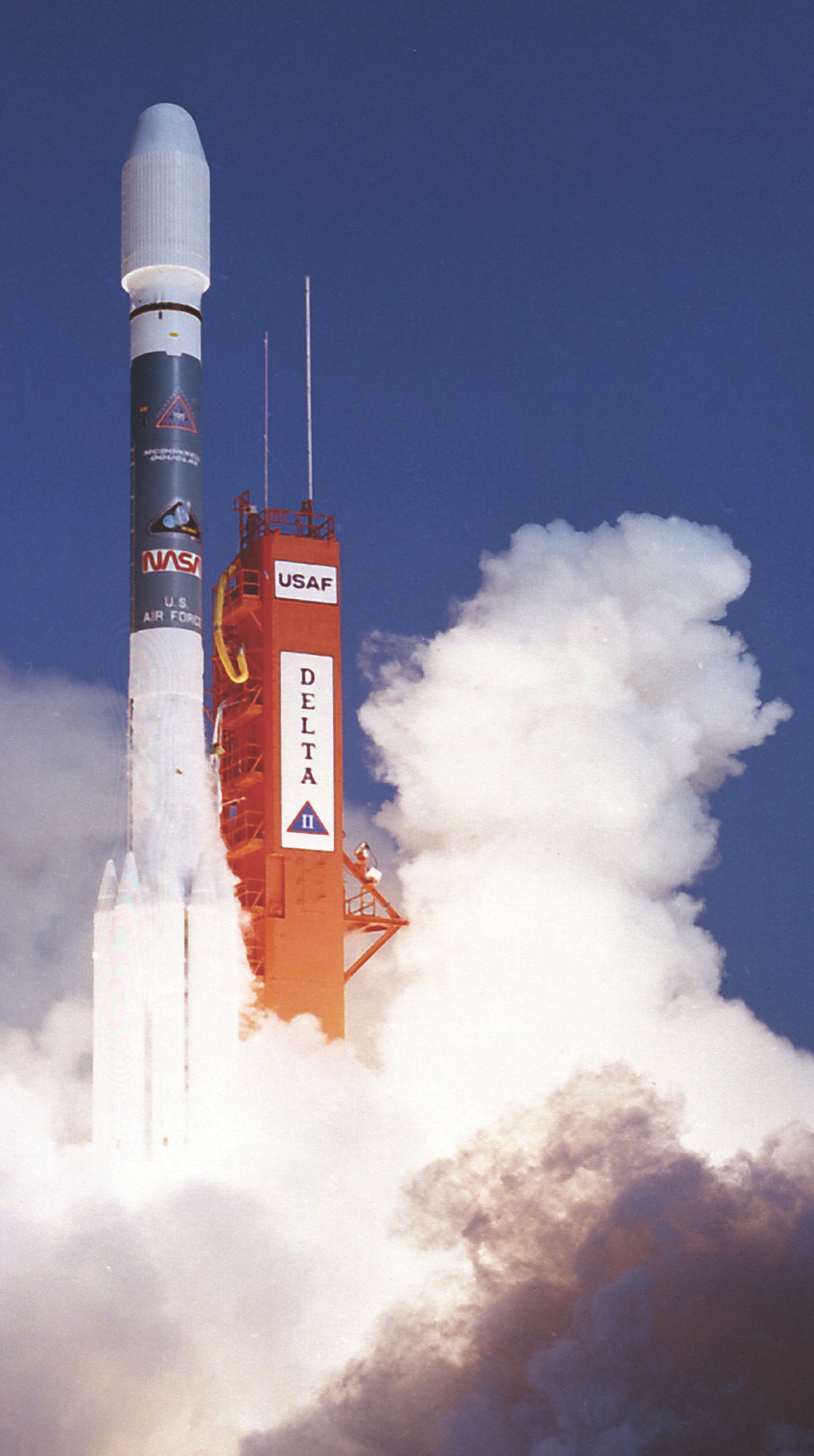
除了让失效航天器焚毁在大气层，将其引导到“航天器坟场”也是比较安全的措施之一。航天器坟场是位于南太平洋一个面积很大的深海无人区，是国际上习惯用于收集失效卫星的地区。通常将可操控的失效卫星、火箭、空间站等通过人为引导使其坠入航天器坟场。这样做的优点是，既不会产生太空垃圾，也不会对地面造成威胁。

不过，航天器坟场只能用于收集可操控的失效航天器，对于因控制系统故障或燃料不足而失控的近地卫星，可利用反卫星导弹将其击碎，使碎片进入大气层后被高温销毁。这种方法通常只对涉密航天器使用，因为如果实施得不好，航天器碎片向上飞，将产生更多的太空垃圾。

尽管世界各国都有严密的预防措施，但也无法完全避免失效航天器坠入他国境内的事故。20 世纪 70 年代末，苏联的核动力卫星就曾经在加拿大境内坠毁，虽然没有造成人员伤亡，但却造成了巨大的核恐慌，随后苏联对加拿大道歉并赔偿了 300 万美元。

事实上，联合国早在 1972 年就通过了《外空物体所造成的损害之国国际责任公约》，其中要求航天器坠入他国的责任国对受害国进行道歉和赔偿。根据联合国的公约，一旦本国的航天器失控坠入他国，给他国造成了损害，就必须道歉和赔偿。但如果该航天器没有对坠入国造成损害（指人员和财产损失），却被坠入国占有或者进行了移动和研究，责任的划分则模棱两可。


英国维珍银河公司商业宇宙飞船“宇宙飞船二号”在美国加州沙漠地带坠毁



德国“伦琴”天文卫星发射瞬间



NO.97　美国研制 X-37B 飞行器的动机是什么？

X-37B 飞行器由波音公司的“鬼怪工程部”研制，是一种无人驾驶，可长时间在轨并进行轨道再入飞行的重复使用飞行器。其外形与航天飞机类似，但体积只有航天飞机的 1/4 左右。

美国空军在 20 世纪 90 年代末开始实施的“军用空间飞机”计划，一直受到美国国会的支持。根据美国空军的规划设想，“军用空间飞机”系统将提供类似飞机一样的操作性、灵活性和快速响应能力，主要完成空间力量增强、空间力量运用、空间支持和空间控制四个方面的任务，全面支持美国空军的各种空间作战任务。整个“军用空间飞机”系统由亚轨道运输飞行器、空间机动飞行器、模块化入轨级、通用航空飞行器组成。

作为“军用空间飞机”系统的核心构成，空间机动飞行器是一种可重复使用的小型无人轨道飞行器，具备长期在轨驻留与变轨机动能力，可执行多种任务。作为两级入轨的第二级，可由亚轨道运输飞行器发射或由一次性运载火箭发射。美国空军空间司令部把“军用空间飞机”视为天军的核心武器装备，认为它既是空间赋能器，又是空间作战武器。X-37B 轨道试验飞行器是“军用空间飞机”系统的第一步，主要用于验证空间机动飞行器的关键技术。

美国空军空间司令部在《美国太空作战力量 2020 年发展构想》的长远规划中，明确提出美国太空作战力量要达到四个目标：空间控制、全球作战、空天地一体化作战和全球战略伙伴关系。在此太空发展战略指导下，美国加速研发具备太空作战能力或作战支援能力的航天器。以 X-37B 为代表，美国通过一系列的飞行试验进行关键技术演示验证来推动空天武器装备的研制，无疑暴露了其抢占空天领域先机、雄霸太空的野心。



X-37B 飞行器准备发射

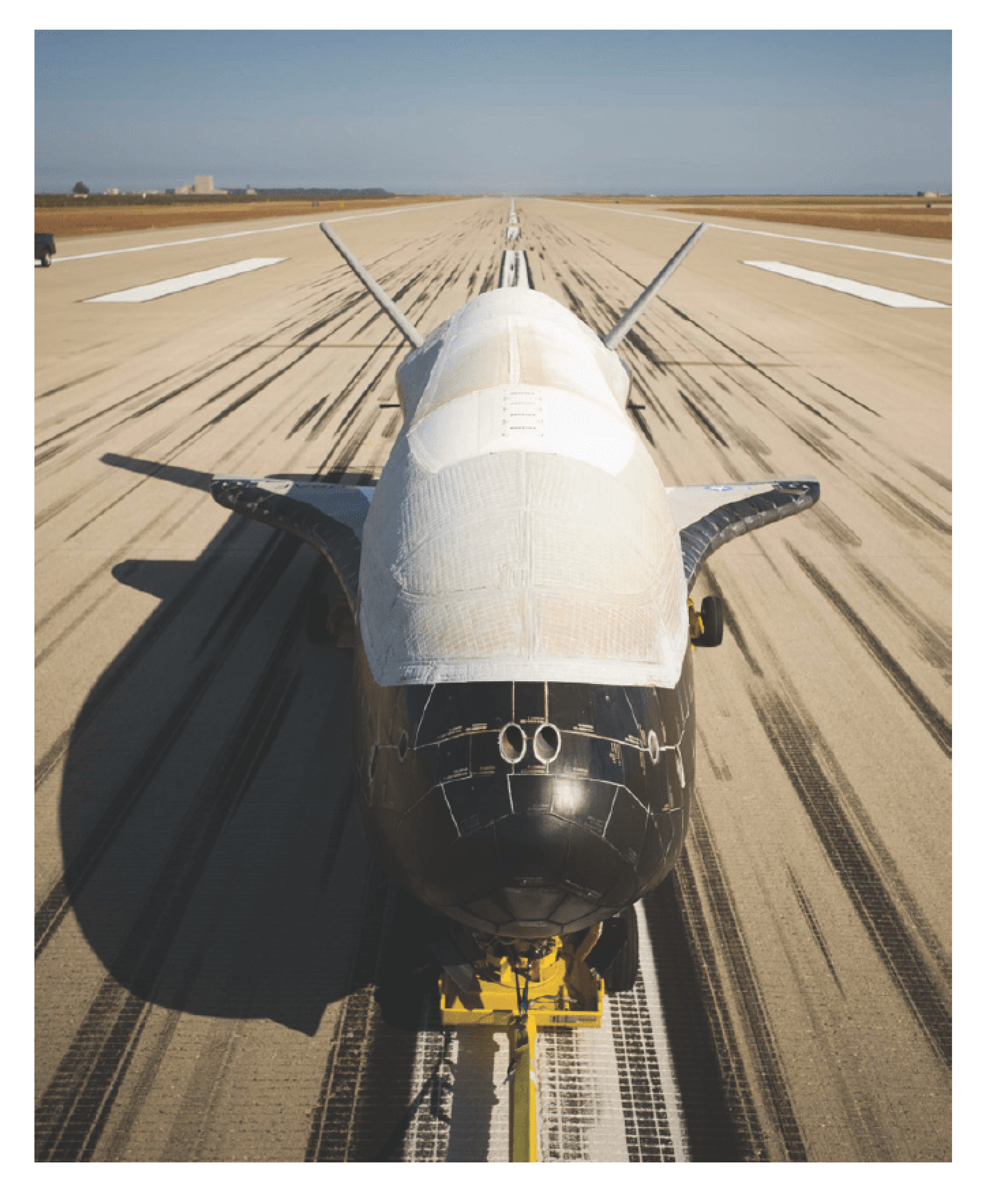


小贴士

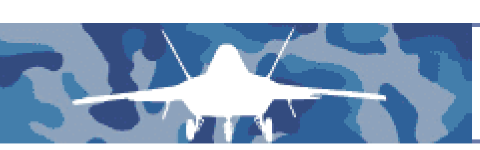
2001 年，美国国防部和美国国家航空航天局共同合作编制和提出了《美国国家空天倡议》。该倡议提出了未来美国航天发展的三大支柱领域，而空间机动飞行器是其中两大领域的核心支柱项目，被认为“有可能会带来巨大潜在回报”。此外，美国在对《美国国家空天倡议》的评估中，特别将空间机动飞行器列为具有很大潜力帮助其实现全球性关键任务的项目。

X-37B 机体长 8.9 米，翼展 4.5 米，高 2.9 米，空重 3.5 吨，载重 4.99 吨。其运行轨道为近地轨道，轨道速度约 2.8 万千米 / 时，无人驾驶，可自行返航；可重复使用，能够在轨长期驻留并具有机动变轨能力；可随时飞到战场上空执行军事监视和战场侦察任务；可作为空间武器平台，随时攻击地面、空中和空间的目标；可快速部署卫星，回收微卫星，甚至是别国的微卫星；可对敌方卫星进行电磁干扰，使其暂时无法工作。

目前，美国空军拥有 2 架 X-37B，按照三次执行任务的顺序分别称为 OTV-1、OTV-2 和 OTV-3。2010 年 4 月 22 日，美国空军进行了 OTV-1 的首次发射。此次试验，X-37B 共在轨飞行 224 天，于美国当地时间 2010 年 12 月 3 日凌晨成功返回基地。2011 年 3 月 5 日，OTV-2 发射，在轨时间增长了一倍多，其在近地轨道共运行了约 469 天。2012 年 12 月 11 日，美国将 OTV-3 送入预定轨道，OTV-3 由 OTV-1 改进而成。此次试验，X-37B 在轨运行约 675 天，远远超出了 270 天的设计指标，再次刷新了可重复使用轨道飞行器空间运行时间的历史纪录。



X-37B 飞行器进行轨道测试






勤务人员正在检修 X-37B 飞行器



X-37B 飞行器侧前方视角





NO.98　美国研制可重复使用的“猎鹰 9 号”火箭有何意义？

“猎鹰 9 号”（Falcon 9）火箭是美国 SpaceX 公司研制的可回收式中型运载火箭系列，以其拥有 9 个发动机的第一级火箭而得名。该系列火箭于 2010 年 6 月 4 日完成首次发射，于 2015 年 12 月 21 日完成首次回收。

“猎鹰 9 号”火箭的诞生

在航天工业界，降低运输成本是整个航天领域面临的主要挑战之一，而其重要措施便是实现运载器的可重复使用。1981 年 4 月 2 日，美国“哥伦比亚”号航天飞机首飞成功，实现了天地往返运输系统的部分重复使用，这是重复使用运载器发展史上的一个重要里程碑。受美国航天飞机成功的鼓舞，20 世纪 80 年代以来，世界各国掀起了重复使用运载器的研究热潮。

可重复使用运载器分为升力体式可重复使用运载器和可重复使用运载火箭两种。与前者不同的是，可重复使用运载火箭是基于传统的一次使用运载火箭构型而开展重复使用设计，其回收方式可分为伞降回收、垂直返回与飞回式三种。

升力体式回收方式技术先进性最高，但技术难度大，对运载器总体布局影响最大。伞降回收对于运载火箭总体布局有一定影响，垂直返回影响最小。值得一提的是，垂直返回可重复使用方式不采用降落伞减速，而采用反推发动机减速，其典型的代表是“猎鹰 9 号”火箭。

早在 2005 年，世界第一枚部分可重复使用运载火箭“猎鹰 1 号”就通过降落伞回收技术，实现了可重复使用，但其上面级为一次性的。而“猎鹰 9 号”火箭的问世，使得美国完全可重复使用技术的研制又向前迈进了一大步。



“猎鹰 9 号”火箭发射瞬间

2015 年 12 月 21 日，“猎鹰 9 号”

火箭进行第 20 次发射，在发送 11 颗卫星后，第一级火箭在卡纳维拉尔角空军基地第一着陆场成功着陆，陆上回收试验成功。

2016 年 4 月 8 日，“猎鹰 9 号”火箭进行第 22 次发射，在为国际空间站进行充气式太空舱试验及货物运输补给的任务后，第一级火箭进行第五次海上着陆尝试，第一级火箭在大西洋上的驳船上成功降落，海上回收试验成功。

2017 年 3 月 30 日，执行 CRS-8 任务的这枚“猎鹰 9 号”火箭第一级再次发射，首次实现一级火箭的重复利用，并又一次成功回收。同时还首次尝试回收了火箭的整流罩。

目前，世界各国基本上采用一次性使用的运载火箭，存在发射费用过高、地面发射准备时间长、安全可靠性相对较低等缺点，严重制约了空间商业化以及空间科学研究和军事应用的发展。“猎鹰 9 号”火箭的出现有望打破这种局面。

与一次性使用的运载火箭相比，可重复使用的火箭拥有相当的优势。首先，可回收火箭能够根本上解决残骸坠落问题。火箭残骸落地是各国进行航天发射时都要面临的问题，对火箭残骸落点进行更为精确的控制，一直是科研人员不断努力的方向。其次，一旦技术成熟，可重复使用的运载火箭将能大幅降低发射成本。随着空间运输需求不断扩大，商业航天的比重也将逐步增大，高可靠性与低成本的航天发射矛盾日益突出。



制造中的“猎鹰 9 号”火箭



“猎鹰 9 号”火箭的不足


“猎鹰 9 号”火箭准备发射

虽然在可重复使用方面取得了突破性进展，但目前像“猎鹰 9 号”这样可重复使用火箭也有明显的不足。

在研制技术方面，其难点在于发动机大范围变推力调节、返回过程控制系统、贮箱推进剂管理系统和着陆支撑系统。由于有“阿波罗”登月舱等技术作为基础，使得一子级的垂直返回回收技术难度相对较小，而主要困难在于二子级返回时将面临严酷的气动热环境。

在运载能力方面，相较于伞降回收方式，垂直返回方式使火箭的运载能力有较大幅度下降。采用垂直返回的一、二子级运载能力损失率分别高达 52% 和 59%。

在降低成本方面，“猎鹰 9 号”火箭采用全液氧煤油发动机，可实现最简单的方法和最低廉的成本获得满意的真空比冲，由此减少了专门研制先进氢氧发动机的昂贵费用。但根据研究表明，“猎鹰 9 号”火箭只有在重复使用 20 次以上时，其发射成本才会低于一次性使用的发射成本。


“猎鹰 9 号”火箭在夜间发射



NO.99 美国成立行星防御协调办公室的动机是什么？

2016年，美国国家航空航天局（NASA）成立了行星防御协调办公室（The Planetary Defense Coordination Office，PDCO）。美国宣称，成立PDCO是为了确保任何近地天体不进入地球大气层内，继而保护地球免遭毁灭性撞击。不过，其他一些国家并不认可这一说法，他们认为PDCO的成立另有隐情。

事实上，世界航天领域针对行星防御的研究已经开展了20多年，与此同时，关于其必要性的讨论也从未停止过。反对者认为，行星撞击分为3类，第一类是微小行星的撞击，其发生的概率大约是一年2次，即使它们击中了人口稠密区，造成的损失大约也只相当于一次中型龙卷风，而死亡人数还不如龙卷风；第二种是中型行星撞击，其发生的概率大约是每百年1次，但几乎90%都会落到无人区；第三种是巨型行星的毁灭性撞击，人类可能会面临灭顶之灾。尽管后果严重，但这类事件发生的概率大约只有1亿年1次。综上所述，人类死于小行星撞击的概率只有1/70000000。因此，开展行星防御的必要性不大，顶多需要开展一些监测活动。

赞成者是基于近些年地球遭受近地小行星坠落的现实与潜在危害来考虑的。例如，2013年2月，一块陨石坠落到了俄罗斯的车里雅宾斯克地区，导致1000多人受伤，并造成了大量财产损失。


大量流星体坠入地球大气层形成的流星雨



从目前来看，各国应对小行星撞击的手段并不少，主要包括核武器、太阳帆、太空镜和引力拖拽等。世界主要航天国家和地区也在不同程度上开展了对行星防御的研究工作。

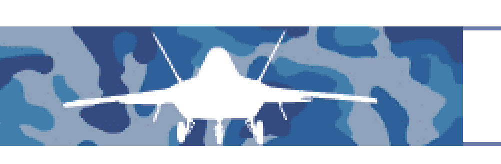
有消息显示，2005 年，美国国会曾要求 NASA 制订过一个关于小行星意外撞击地球的防御计划。2007 年，NASA 在华盛顿召开的行星防御会议上提交了自己的报告。在这个报告中，NASA 提出了多项计划，其中一些计划涉及使用核爆炸产生的力量使小行星远离地球。从爆炸中释放出的能量预计可产生足够大的动力将小行星推向其他方向，以防止撞击地球的灾难发生，并且随后还衍生了一系列的行星防御项目。

俄罗斯是近些年为数不多的遭受小行星撞击危害的国家之一，对行星防御的思考与研究颇具代表性。据媒体报道，俄罗斯也在执行一项雄心勃勃的核弹升级计划，旨在攻击对地球造成威胁的小行星。该计划将通过洲际弹道导弹将核弹头发射到大气层外，核弹发射试验的计划攻击目标就是 2004 年被发现的一颗小行星——99942 阿波菲斯星，据估计，这颗小行星将于 2036 年以极近的距离飞掠地球。

此外，欧洲航天局也开展了近地小行星空间探测计划，如主要针对近地小行星和潜在威胁小行星的 EUNEOS（Eurooean NEO Svace-based Observatory）空间计划。



2013 年 2 月坠落在俄罗斯车里雅宾斯克地区的陨石碎片之一





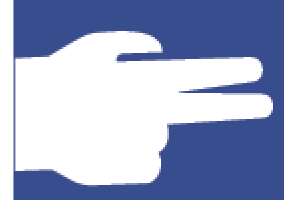
坠落在车里雅宾斯克的陨石碎片之一被放在博物馆中展览

针对 NASA 成立的 PDCO，有人对其忧患意识表示赞赏，也有人猜测这可能会成为其“天军”的潜在组成部分。从表面上看，PDCO 当前的任务以民用天体观测和监视为主，但从另一角度来看，其背后是否隐藏着太空军事用途还值得观察和推敲。

2013 年，美国绝密的“太空烈火”计划被俄罗斯媒体曝光：该计划不仅包括针对其他国家的太空作战方案，还明确提出通过推出空天母舰等方式，确立自身的“绝对火力优势”。2014 年，NASA 咨询理事会呼吁成立新的小行星监控办公室，建议“不仅包括搜索对地球构成潜在威胁的近地小行星，而且还具备积极防御的影响”。如今，以观测和监视为主要任务的 PDCO 横空出世，使美国提出的具备积极防御的太空火力打击能力变得更加现实可期。因此，PDCO 对美国建立“绝对火力优势”的牵引作用绝对不能忽视。

根据 PDCO 的职责，其可以与联邦紧急事务管理局、国防部和其他美国政府机构合作，提出应急计划。而用于行星防御监测预警的地基、空基和天基空间态势感知技术，有些也可以用于导弹防御系统和空间作战力量建设。



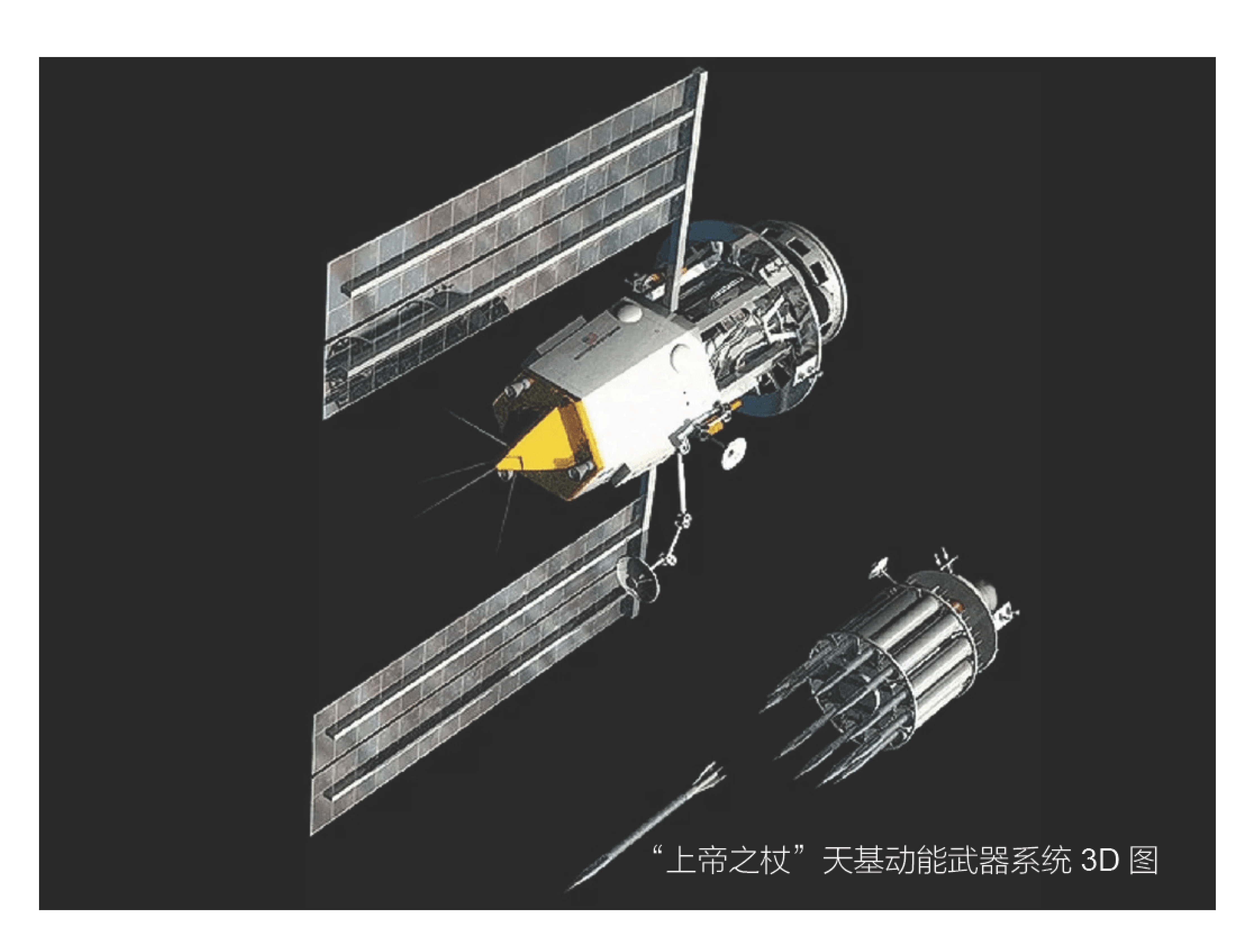


NO.100 美国研发的“上帝之杖”有何作用?

“上帝之杖”（Rods from God）是美军正在研制的一种太空武器。该项目计划依托太空平台搭载大量直径 30 厘米、长 6.1 米、重 100 千克的钨、钛或铀制成的金属棒，这些高密度的金属棒可在卫星制导下，利用小型火箭助推和自由落体产生的巨大动能，在任何时间对地球上任何地区的高价值战略目标实施快速、精确打击。

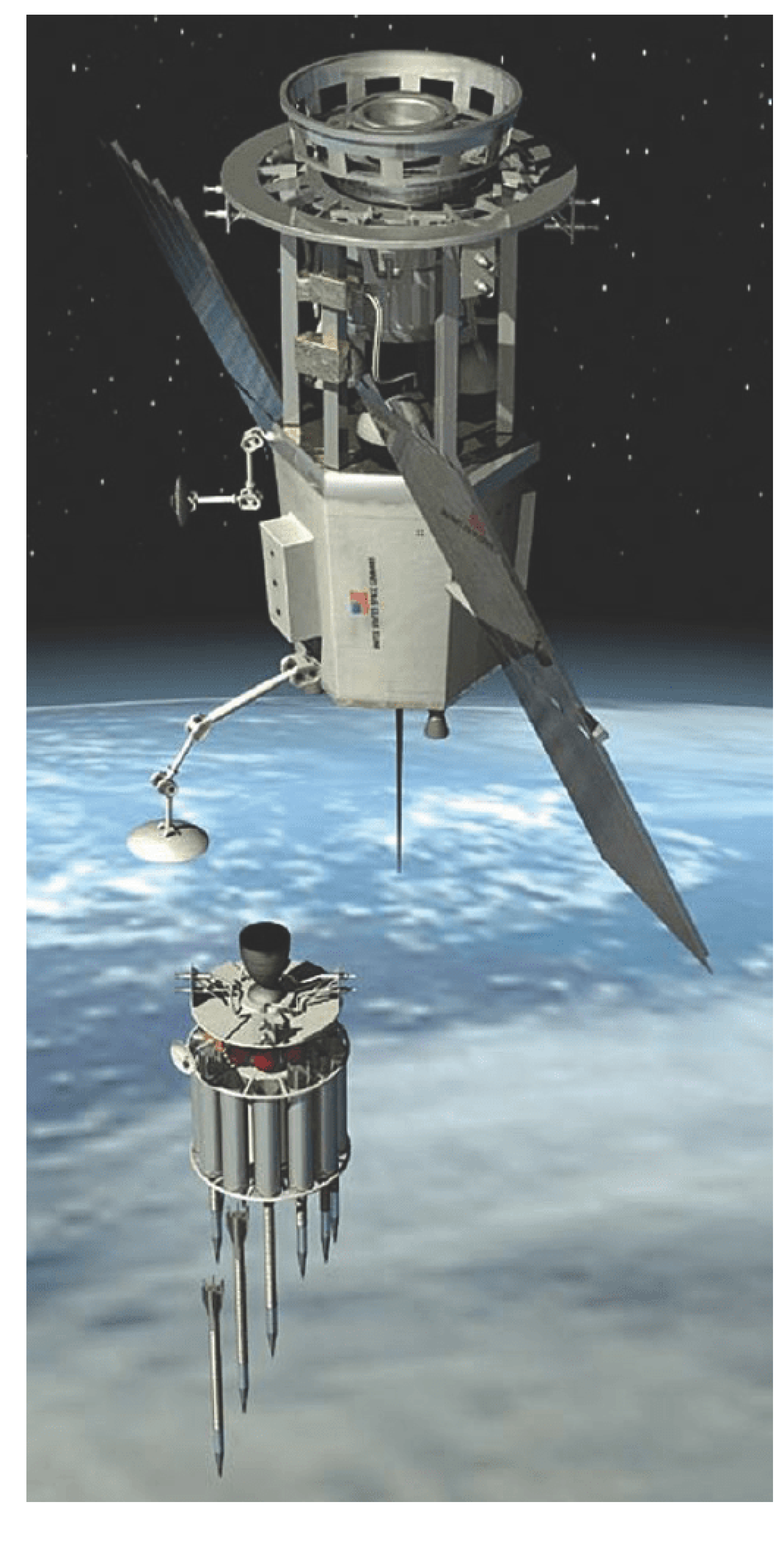
“上帝之杖”从太空发射后，不依靠任何弹药，完全依赖动能撞击对目标产生破坏力，但攻击效果却堪比核武器，能毫不费力地摧毁大型建筑群和几百米深的地下掩体，而且还不会产生辐射。美军希望把“上帝之杖”打造成为未来空间对地作战的“撒手锏”，进而取代核武器，成为军事领域新的战略级威慑力量。据五角大楼宣称，他们计划在 2025 年之前完成“上帝之杖”的部署。

美国研制这种新概念战略武器有着深层次的原因。随着核武器拥有国数量的增加，以核武器为中心的传统战略武器的威慑力大受限制，国际反核浪潮也是此起彼伏。此外，保持核威慑的开支庞大，据美国官方透露，其核


“上帝之杖”天基动能武器系统 3D 图

武器维护总费用每年在 2000 亿～ 3000 亿美元，这对日益紧缩的军费开支来说无疑是雪上加霜。与此同时，其他常规武器往往又不具备战略威慑能力。对于越来越深、越来越坚固的地下工事，常规武器往往束手无策。以美军的 GBU-28 钻地炸弹为例，其仅能穿透 6 米厚的混凝土或 30 米的坚硬地层，对地下坚固的钢筋混凝土工事毫无办法。种种因素促使美军试图在其他非核武器上寻求新的突破口和新的战略制高点，以“上帝之杖”为代表的天基动能武器无疑成为最佳选择。

“上帝之杖”天基动能武器系统主要由位于低轨道的两颗卫星平台组成，一颗负责通信和锁定目标，另一颗则搭载有大量被称为“上帝之杖”的金属长杆形动能“炮弹”。弹体主要由动能弹头、推进系统、制导系统、热控系统与通信系统 5 部分组成。弹头主要由高密度的钨、钛或铀等金属铸造，前方略尖，可减小空气阻力，降低到达地面时的动能损耗。推进系统主要是小型火箭助推器，可在外太空为“炮弹”提供较为精确、容易控制的推力。制导系统主要是不断调整火箭助推器和空气动力学舵面，改变飞行方向，以确保精确命中目标。热控系统主要是依靠外部特制的热防护涂层来防止弹体过热。



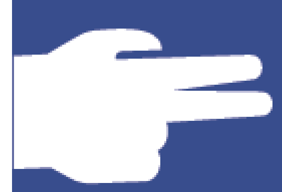
“上帝之杖”天基动能武器系统的两颗卫星

“上帝之杖”打击目标时通常采取垂直攻击的方式，就像陨石撞击地球一样，因此它获得的动能巨大，打击地面时所产生的破坏力也相当大，其威力相当于一枚小型核弹，并能轻而易举地刺入地下几百千米深的目标内部，只此一条即可让任何钻地炸弹黯然失色。

与其他常规武器相比，“上帝之杖”还具有以下优点：一是打击范围广。其打击范围可覆盖全球任何一个地区，打击对象包括指挥中心、导弹发射塔、地下掩体等所有非移动类目



标；二是反应时间短。由于其搭载平台通常部署在低轨道，所以对地攻击准备时间短、反应速度快，从离轨到对地面实施打击仅需 11 分钟，打击时间不及洲际弹道导弹的 1/3；三是突防能力强。由于速度极高，可有效突破敌多层防御体系，即使敌方具备多层防御能力，也很难在短时间内进行预警；四是生存能力强。搭载“上帝之杖”的卫星平台通常在距离地面 1000 千米的轨道上，远在一般飞机和导弹的攻击范围之外；五是环境污染小。“上帝之杖”主要是通过碰撞攻击目标，不依靠弹药，更没有核辐射，不会对环境造成污染；六是占据道义主动。相比核武器而言，“上帝之杖”在道义上占有更大的主动权。



NO.101　美国如何发展反卫星武器?

从第一颗人造卫星上天起，各国就认识到太空巨大的军事价值。如今军用卫星的作用已经举足轻重，侦察卫星可以窥探一个国家的军事机密，全球定位卫星能引导精确制导武器发动致命攻击，预警卫星可以提前预警敌方弹道导弹攻击。正因如此，反卫星武器也成了各军事大国发展的重点，其中美国取得了较大的发展成果。

反卫星武器的发展历程

美国反卫星武器历经了从简到繁、从低级到高级的发展过程。从苏联发射第一颗人造卫星起，美国陆海空三军先后研制和试验了采用核弹头、动能拦截弹头的共轨式、直接上升式反卫星武器和激光反卫星武器，共进行了 30 多次试验。

从 20 世纪 50 年代到 70 年代中期主要以核弹头试验为主。在这一时期，美国的防御重点是解决反弹道导弹问题，因此立足于建立反弹道导弹系统。与此同时，美国也利用已有的反导系统进行反卫星技术途径探索，并做了一些反卫星技术试验。

1976 年，美国空军开始发展空中发射的直接上升式动能反卫星武器系统，并在 1985 年进行了首次拦截卫星的飞行试验，成功地拦截了一颗报废的实验卫星。该计划由于美苏的限制军备谈判而于 1988 年终止。

1989 年，美国开始重点发展地基直接上升式动能反卫星武器系统。反卫


美国 ASM-135 空射反卫星导弹

星导弹的动能杀伤拦截器于 1994 年成功地进行了地面捷联试验，并于 1997 年 8 月进行了首次悬浮飞行试验。

1996 年美国开始了一种新型反卫星武器的试验。这种反卫星导弹从地面发射，在导弹与卫星遭遇时，以一张巨大的聚酯板拍打卫星，使卫星内部的仪器失灵，而卫星仍保持完整的外形，从而可以减少卫星空间碎片。

除动能武器外，美国也在积极发展定向能武器。1997 年 10 月，美国陆军首次使用中红外先进化学激光器在新墨西哥州的白沙导弹试验场进行了摧毁在轨卫星的试验。另外，天基激光武器从 1992 年以来也进行了多次试验，技术上已达到了武器要求水平。2000 年，美国国防部拨款 1 亿美元试验一种从太空攻击导弹或其他飞行目标的高能激光武器。同时，地基激光反卫星武器可能在 2005 年年初开始部署，具有对 1500 千米以下的中低轨道卫星进行干扰和毁伤的作战能力。另外，美国从 20 世纪 90 年代后期起也加紧了对高能微波武器的研制。

据不完全估算，今后 20 年美国对太空武器装备研究的投资将至少达到 1400 亿～ 1600 亿美元。其中，远期武器计划发展经费约 800 亿～ 1100 亿美元，近期计划发展经费约为 500 亿～ 600 亿美元。

反卫星武器的技术途径

当前美国实现反卫星作战的技术途径主要有：核能反卫星、卫星反卫星、



动能武器反卫星、定向能武器反卫星和航天飞机反卫星。

1）核能反卫星

核能反卫星是通过核装置在目标卫星附近爆炸产生强烈的热、核辐射和电磁脉冲等效应，毁坏卫星的结构部件与电子设备，从而使其丧失工作能力。由于核能反卫星武器的作用距离远，破坏范围大，在制导精度较差的情况下仍能达到破坏目标的战斗目的，因此被用作反卫星武器最早期的杀伤手段。例如，美国20世纪60年代研制的第一代“雷神”反卫星导弹就带有核弹头。但由于核能反卫星武器的附加破坏效应大，因此没有继续使用。

2）卫星反卫星

卫星反卫星武器实际上就是一种带有爆破装置的卫星。它在与目标卫星相同的轨道上利用自身携带的雷达红外寻的探测装置跟踪目标，然后靠近目标卫星，在距离目标数十米之内将载有高能炸药的战斗部引爆，产生大量碎片来击毁目标。卫星反卫星作战方式有两种：共轨和快速上升攻击。共轨攻击就是运载火箭将反卫星卫星射入与目标卫星的轨道平面和轨道高度均相近的轨道上，然后通过机动，逐渐接近目标，一般需要若干圈轨道飞行之后才能完成攻击任务。快速上升攻击就是先把反卫星卫星射入与目标卫星的轨道平面相同而高度较低的轨道，然后机动快速上升接近并攻击目标。这种方式可在第一圈轨道内就完成拦截目标的任务。

3）动能武器反卫星

动能武器反卫星是通过高速运动物体来杀伤目标卫星。动能反卫星武器通常利用火箭推进或电磁力驱动的方式把弹头加速到很高的速度，并通过直接碰撞击毁目标，也可以通过弹头携带的高能爆破装置在目标附近爆炸产生密集的金属碎片或霰弹击毁目标。动能反卫星武器要求高度精确的制导技术，例如，F-15“鹰”式战斗机发射的反卫星导弹就必须直接命中目标。动能反卫星武器可以部署在地面、舰船、飞机甚至航天器上。目前



美国RIM-161“标准Ⅲ”反卫星导弹从“提康德罗加”级导弹巡洋舰上发射

美国正在大力发展这种技术。

4）定向能武器反卫星

定向能反卫星武器通过从地面、空中或太空平台上发射高能激光、粒子束或大功率微波射束，以破坏目标卫星的结构或敏感元件。利用定向能杀伤手段摧毁空间目标具有速度快、攻击空域广的特点，但技术难度较大。美军在激光反卫星武器方面主要是研制“自由电子激光器”和“中红外先进化学激光器”。前者输出功率高，能摧毁中高轨道卫星，是激光反卫星武器的首选；后者输出功率有限，且波长长，主要用于干扰卫星正常工作和研究试验。

5）航天飞机反卫星

随着科技的进步，载人航天兵器将进入外空间战场，航天飞机和空间站也可以作为反卫星武器。航天飞机可以飞向目标卫星，向其开火或将其抓获。1984 年和 1992 年美国航天飞机在轨道上修理和回收卫星的实践表明，航天飞机既能用来在轨道上捕捉、破坏目标卫星，又能装备反卫星武器。美国准备建立一支配有各种武器的航天机队，作为太空行之有效的作战力量。



美国 F-15“鹰”式战斗机
试射 ASM-135 反卫星导弹

 NO.102　空天母舰能否成为未来战争的主角？

空天母舰搭载的是既能在太空作战，也能在大气层飞行的空天战机，是以舰载机及动能武器、激光武器等为主要武器并作为其空中活动基地的大型飞行器。

在现代战争中，巡航导弹已越来越多地发挥着重要作用。实际上，巡航导弹是一种“无人驾驶飞行器”，而发射空基巡航导弹的飞行器就是一种“空中母机”。如果从空天一体化全维战场的角度来看，这种“空中母机”也可称为“空天母舰”。



漫威电影中的空天母舰（俯视）

在未来战场中，空天母舰将在卫星、预警机、侦察机、电子战飞机和武装补给飞艇等各类飞行器的保障下，游弋于空天之中。空天母舰上将搭载具备各种功能的空天飞行器，它们可能包括巡航导弹那样的“自杀性武器”，也可能施放无人操纵的可回收的飞行器去猎杀目标，或者是有人驾驶的飞行器对空天、陆地或海洋目标进行精确打击。

空天母舰的作战模式既不等同于太空战，也不等同于空战，它是一种跨形态作战。它是一种快速反应的跨大气层飞行的新颖运输机，也是一种装备有先进探测设备的侦察飞行器，还可能是一种灵活并可重复使用的太空发射平台。在未来的空天一体化作战中，它既可以当作航空兵参加战斗，也可以作为“天军”与太空“敌人”厮杀。它是一种比航天飞机更为灵活、战斗力更强的新型空天武器。

然而，无论是从效用性、时效性和应用范围来看，还是从制造和使用的成本来说，空天母舰的未来角色，主要还是在于战略威慑和执行特殊任务，

漫威电影中的空天母舰（后方视角）

不可能像普通军用飞机一样批量生产和成建制列装。而具备空天飞机特征的第六代通用战斗机，则更具有实际意义。不过，如果航天科技进一步发达，使用核聚变发动机，那么空天母舰的一切问题将迎刃而解。一旦空天母舰发展成为一种成熟的通用化大型空天武器平台，它将成为继航空母舰之后的另一个“霸主”，它有可能取代航空母舰的地位，成为未来战争的主角。

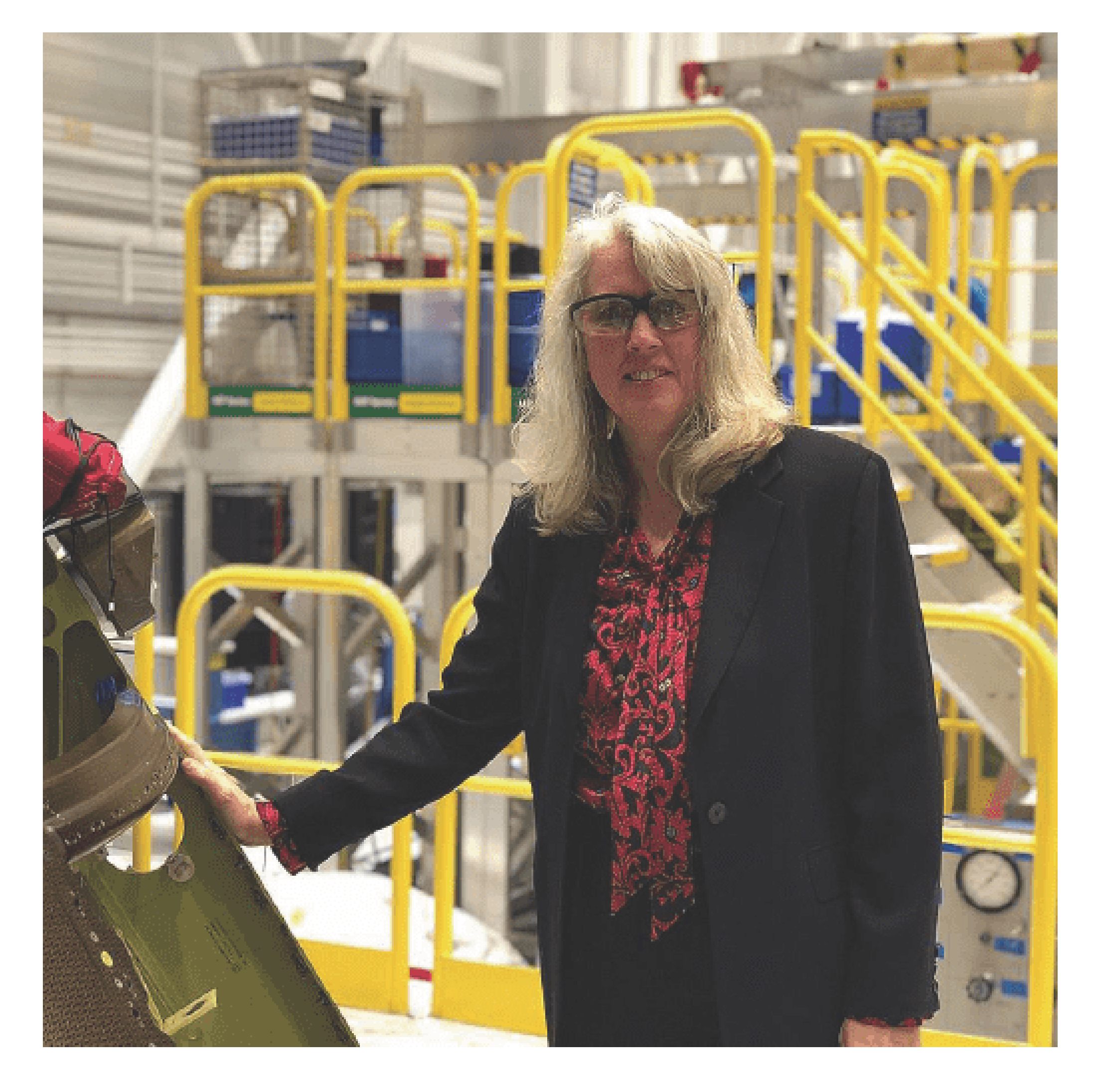
2004 年 9 月，波音公司全面启动了空天飞行器项目，代号“暗星”（Faint Star）。该项目的领军人物是波音公司赫赫有名的“假小子”乔伊 • 布赖恩特。布赖恩特的一位下属解释说：“这个项目代号源于布赖恩特，她想让全新概念的空天武器像宇宙中的暗物质一样来去无踪，成为航空、航天甚至未来星际作战的全新武器。”

按照波音公司的设想，空天母舰的长度达 500 ～ 1200 米，高度达 50 ～ 100 米，载荷量达 8000 吨，将全面超越当今的“空中巨无霸”——空中客车 A380 客机。这种空天母舰的最高时速为 30000 千米 / 时，可在海拔 200 千米的绕地轨道安全飞行。在有人驾驶时，它能在常规机场水平起飞和着陆，还可在大气层内飞行，因而空天母舰仍具有常规飞行器的气动外形，但它的飞行速度将史无前例地超过 5 马赫，从美国首都华盛顿飞到日本东京只需 2 小时。



设想中的空天母舰也可进行大气层外的轨道飞行。由于没有了空气阻力，它此时的飞行速度将高达 25 马赫，仅需 90 分钟就能绕地球一圈，几乎可实时到达地球上空任何一个角落投入战斗，令敌人无暇反应。

按照美国的新军事战略，今后将大幅削减海外驻军，关闭海外基地，由此留下的空档将由远程战略武器来填补，未来的空天母舰就可能是其重要组成部分之一。



美国波音公司“暗星”
空天飞行器项目的主导者乔伊·布赖恩特

NO.103 美国航天飞机如何与俄罗斯空间站交会对接?

1995 年 6 月 29 日，美国航天飞机“亚特兰蒂斯”号顺利地与太空运行的俄罗斯“和平”号空间站对接成功。

尽管俄罗斯在其“联盟”号飞船与空间站方面已积累了 70 多次交会对接的实践经验，但是对于美国航天飞机来说，只有多次与轨道上的卫星进行空间交会的经验，从未与任何航天器进行过对接。另外，此次对接涉及两个国家，技术风险和政治风险都很大。因此，“亚特兰蒂斯”号航天飞机使用了俄罗斯研制的对接机构。俄制的对接机构经过了数十次空间飞行的考验，技术上相当成熟，可靠性也很高。

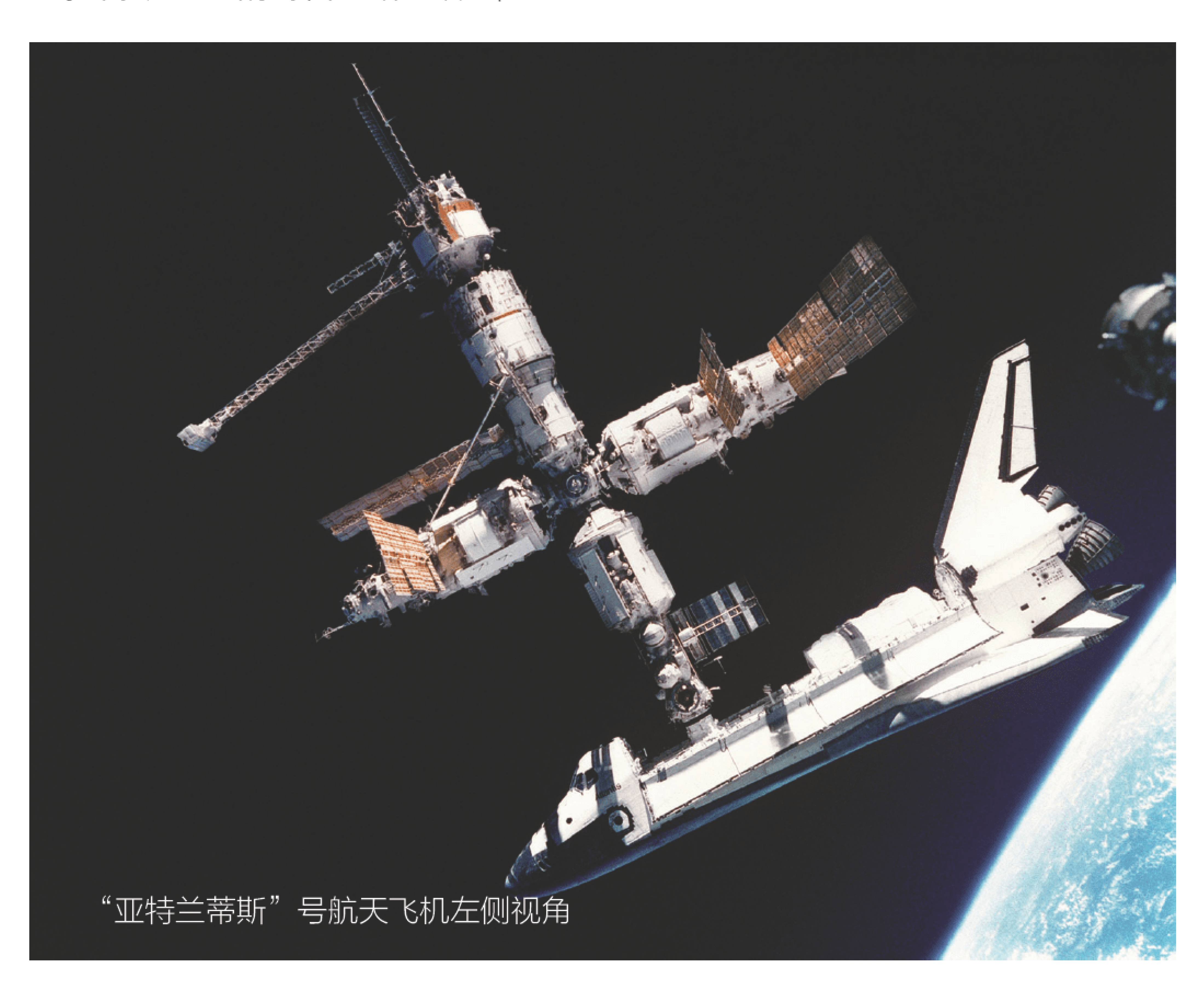


“亚特兰蒂斯”号航天飞机
与“和平”号空间站成功对接

根据设计计算，“亚特兰蒂斯”号航天飞机与“和平”号空间站在对接时的相对速度不得大于 0.03 米 / 秒。实际上，这两个各重 100 多吨的航天器本身正在轨道上以 7678 米 / 秒高速运行。为实现对接，必须具有极高的速度控制精度。为此，在对接过程中尽量利用了轨道动力学原理使航天飞机自然减速，而不用或少用反作用推力器，以免喷气羽流污染“和平”号上的光学镜头等敏感部位。

在对接过程中，“亚特兰蒂斯”号必须精确保持在以“和平”号（“晶体”舱）对接口中心为顶点的一个想象的圆锥形对接走廊内。当两个航天器相距 76 米时，锥体直径为 21 米；当距离为 9 米时，锥体直径为 1.5 米；到达对接瞬间时，只允许有 7.62 厘米的横向偏差。为了保证航天飞机处于锥形对接走廊内，必须精确控制与空间站的相对速度，设计要求接近时相对速度不得大于 0.06 米 / 秒，而实际上，相对速度控制在了 0.03 米 / 秒以下。

造成对接技术难度大的另一个原因是，允许的对接窗口的时间只有 2 分钟。空间交会对接需要在地面站控制指挥下进行，“亚特兰蒂斯”号与“和平”号对接时，正处在俄罗斯位于亚洲的一个地面站上空。这个地面站能够跟踪测控两航天器的时间只有 2 分钟。


“亚特兰蒂斯”号航天飞机左侧视角



“亚特兰蒂斯”号与“和平”号对接的实际操作由机长吉布森负责执行。驾驶员普列考特则不断通过机载激光测距雷达和计算机运算，提供航天飞机相对于空间站的瞬时位置、速度和姿态等数据。当“亚特兰蒂斯”号的对接机构与“和平”号的对接机构一旦接触，航天飞机就自动打开推力器喷气 2.7 秒，推动两对接机构压紧并锁定。接着，航天飞机上的航天员检查对接部分的密封性，在对各关键部位进行压力检测，确认两个航天器在结构上完全啮合时，才打开沟通两个航天器的通道，让航天飞机上的航天员全部进入空间站。

为了完成这次历史性的空间对接任务，美国航天员做了大量准备工作。机长吉布森在地面约翰逊空间飞行中心的交会对接模拟装置上进行过多次模拟操作；驾驶员进行过 1000 小时以上的模拟操作；所有“亚特兰蒂斯”号上的 5 名美国机组人员也都在模拟装置上接受过 500 多小时的飞行训练。

航天员从“和平”号空间站俯视“亚特兰蒂斯”号航天飞机

 NO.104 航天员如何穿戴复杂的舱外航天服？

航天员穿戴舱外航天服有一套严格的步骤和顺序，而且不同型号的航天服穿脱的顺序也不一样。以美国航天飞机舱外航天服为例，整个穿衣过程共分 10 个步骤完成。

（1）穿强力吸尿裤。

（2）穿液冷通风服。

（3） 带上生物电子联结装置。在这种装置上有测量航天员心率的传感器和与外界进行通话联络的电子设备。

（4）一些小的操作程序，包括在头盔面窗里面涂上防雾霜，在服装左侧袖子的手腕处装上一块小的反光镜，在服装上身前胸部位装上一个小食品袋和一个饮水袋，在头盔上装上照明灯和电视摄像头，最后是将通信帽与生物电子联结装置联结在一起。上述四步都是穿服装前的准备工作。

（5）穿服装的下半身。下半身有不同尺寸，可供不同身材的航天员选用。下半身服装的腰部有一个大的带轴承的关节，为航天员弯腰和转身提供方便。

（6）穿服装的上半身。在穿上半身之前，应先将气闸舱的冷却脐带管插入服装胸前的显示控制盒的接口上，以便向服装内提供冷却水、氧气和电力。因为航天飞机气闸舱内仅有 2 米高，直径 1.6 米，两名航天员在里面穿航天服显得非常拥挤，因此航天服的上半身是挂在气闸舱壁的支架上。这样一来当航天员要穿服装上半身时，必须蹲下身体，手臂向上伸，采取一种跳水运动员跳水的姿势钻进服装内。服装上下身穿好以后，将密封环连接在一起，然后将各种供应管线与服装相接。



美国航天员艾伦·谢泼德使用的
舱外航天服（保存在肯尼迪航天中心）

（7）戴上通信帽、头盔和手套。一旦戴上头盔和手套以后，航天员就不能呼吸气闸舱内的空气，而是通过

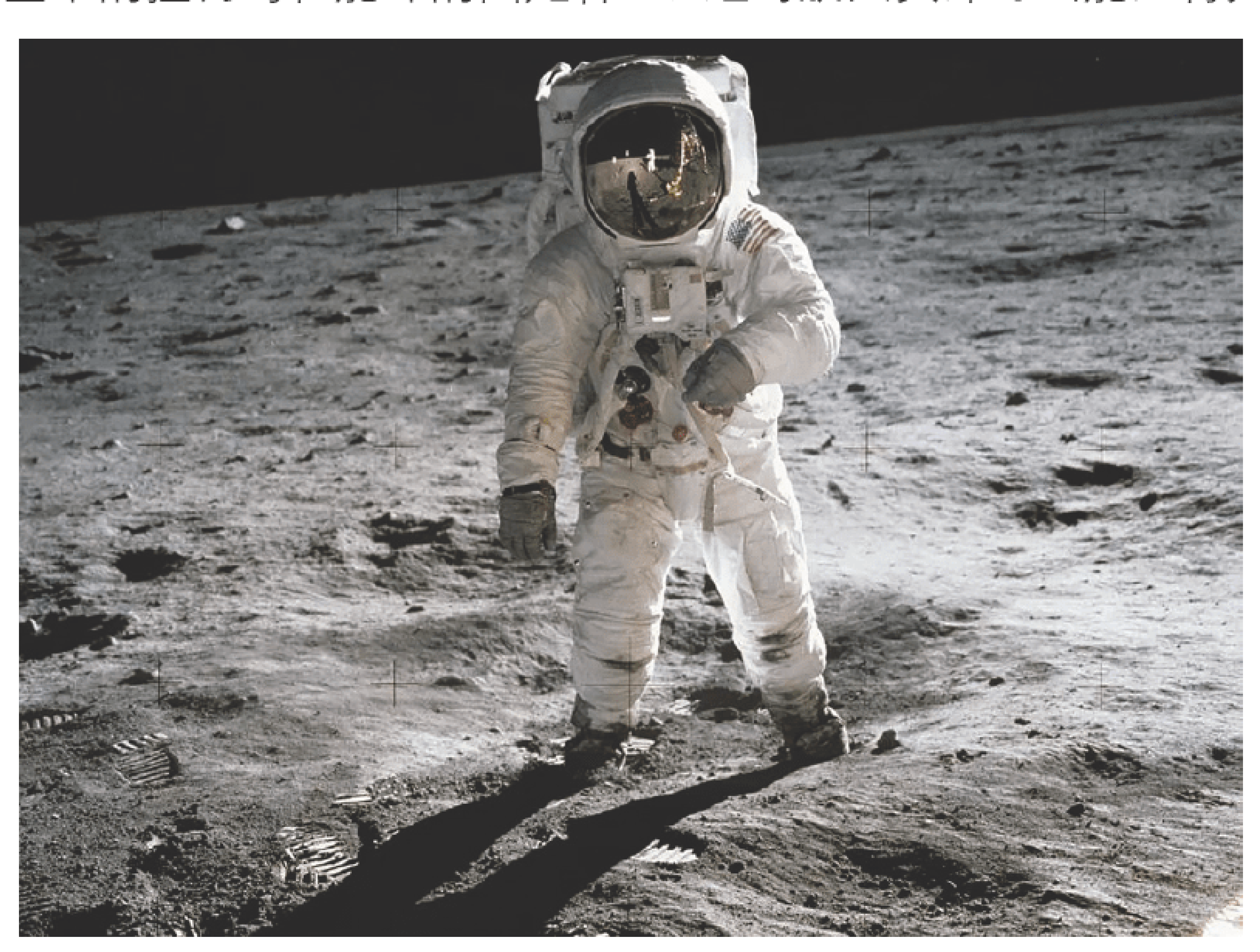


脐带呼吸从航天飞机轨道器提供的氧气。

（8）向服装加压，并由航天员对服装进行测试，是为了保证服装不漏气，而且内部压力稳定。测试的重点是气体流量、冷却水和电池的功率。

（9）开始呼吸纯氧，进行吸氧排氮。即将体内的氮气排除，目的是预防减压病。

（10）关闭气闸舱的内舱门，气闸舱进行减压。当气闸舱内的压力降低到零时，打开气闸舱的外舱门，同时航天员应将服装与气闸舱的所有联结断开，将安全带的挂钩勾在舱外的固定杆上，这时航天员即可出舱进行太空行走。



美国航天员巴兹·奥尔德林身穿舱外航天服在月球上行走



身穿舱外航天服的日本航天员

 NO.105 地面如何对航天员出舱活动进行测控通信支持？

出舱活动是航天员穿着舱外航天服在航天器外进行太空行走和作业的统称。出舱是高风险活动，航天员将面临高真空、高热、深冷、太阳辐射、离子辐射、微流星和空间碎片等严峻的空间环境。舱外航天服以及出舱保障设备必须在这种极端恶劣的环境中为航天员提供安全的生存条件，任何一点故障都可能导致出舱活动的失败，甚至威胁到航天员的身体健康和生命安全。因此，进行出舱活动必须做到对事故隐患及时发现、迅速处理，这就需要得到地面测控通信的有力支持。那么，地面测控通信是如何对出舱活动进行支持保障的呢？

出舱活动通常按时序分为 4 个阶段：在轨检查和训练、出舱前准备、出舱活动及舱内环境恢复阶段。

（1）在轨检查和训练阶段。航天员与地面配合完成舱外航天服的在轨组装和全面检查，并进行在轨训练。地面除了通过遥测对飞船和航天员状态进行监视外，还通过与航天员通话和电视图像，以了解航天员的操作过程，并配合航天员实施与舱外航天服上通话设备的有线和无线通信试验。

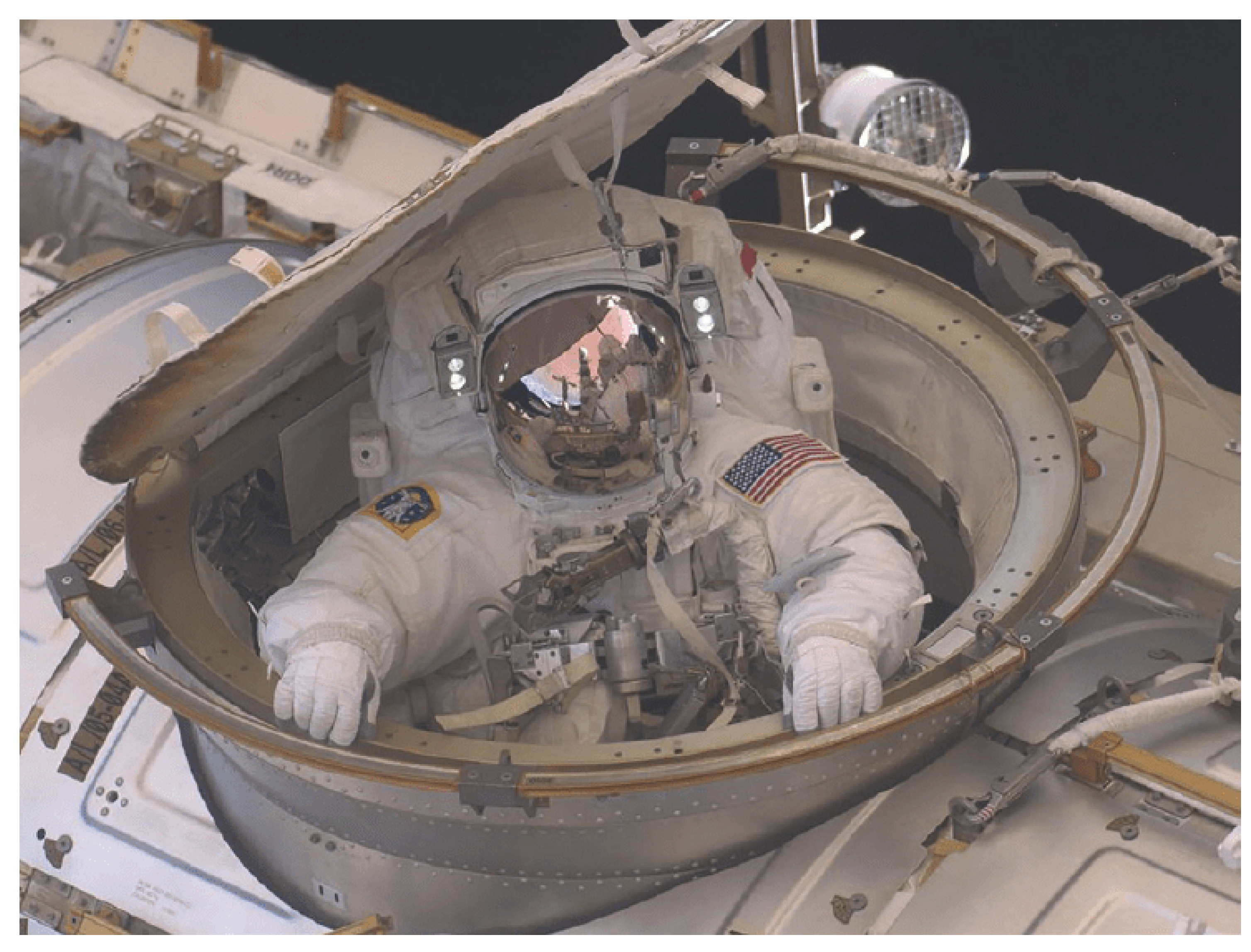
（2）出舱前准备阶段。进行航天员的状态检查、船 - 服联合检查、穿航天服前的检查和准备，以及出舱前的操作。包括舱外航天服和船舱对接系统的气密性检查，舱外航天服的大流量氧冲洗，以及轨道舱泄压等有关控制功能的操作，这些操作对保障航天员顺利出舱至关重要，需要地面重点关注。


美国航天员在月球地表活动



（3）出舱活动阶段。航天员出舱，完成舱外活动后返回轨道舱。在正式出舱前，航天员要向地面报告自我状态和出舱前的准备情况，地面确认航天服、航天员和轨道舱状态符合要求后，通知航天员出舱活动正式开始。在整个出舱活动期间，要求通过电视和话音通信等手段对航天员实施尽可能连续的监视和通信支持。

（4）舱内环境恢复阶段。航天员返回轨道舱进行舱内环境恢复，包括关闭轨道舱舱门并检漏，检漏合格后进行轨道舱和舱外航天服压力的恢复，脱舱外航天服，打开返回舱舱门。在这个过程中，地面要严密监视轨道舱复压过程和环境控制生命保障系统的相关参数，一旦出现问题要及时采取措施。



美国航天员准备出舱活动



俄罗斯航天员出舱活动



NO.106 航天员如何利用逃逸塔逃生？

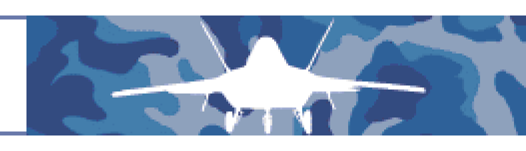
逃逸塔是火箭顶端一个类似避雷针的尖塔状装置。在火箭发射过程中（包括在地面静止状态和高空飞行状态下），万一发生危及航天员生命安全的意外紧急情况时，逃逸塔能将飞船和运载火箭分离，并逃逸至安全区域可靠降落。由于它直接维系着航天员的生命安全，所以被誉为航天员的“生命之塔”。

逃逸塔承担着双重使命，无论火箭飞行顺利与否，它都必须可靠工作。在火箭飞行一切正常的情况下，为了保证飞船能达到设计的轨道和正常回收，在火箭起飞 120 秒，飞行高度大约到 40 千米时，逃逸系统中的分离发动机和控制发动机必须按指令点火工作，使逃逸塔尾部与飞船分离，完成抛塔，为箭船后续飞行中的一系列分离动作创造条件。

如果火箭飞行一切正常，而逃逸发动机没有正常点火工作，逃逸塔便无法与火箭分离，飞船就不能飞到预定的高度进入预定轨道，而且回收舱的降落伞也无法打开，航天员便没有生还的可能，结果只会箭毁人亡。

如果火箭在发射前或飞行 120 秒前，出现了危及航天员生命的意外紧急情况，逃逸系统的主逃逸发动机、控制发动机、分离发动机和高空逃逸发动机就会按照火箭故障检测系统的指令次序点火工作，在瞬间将位于整流罩内

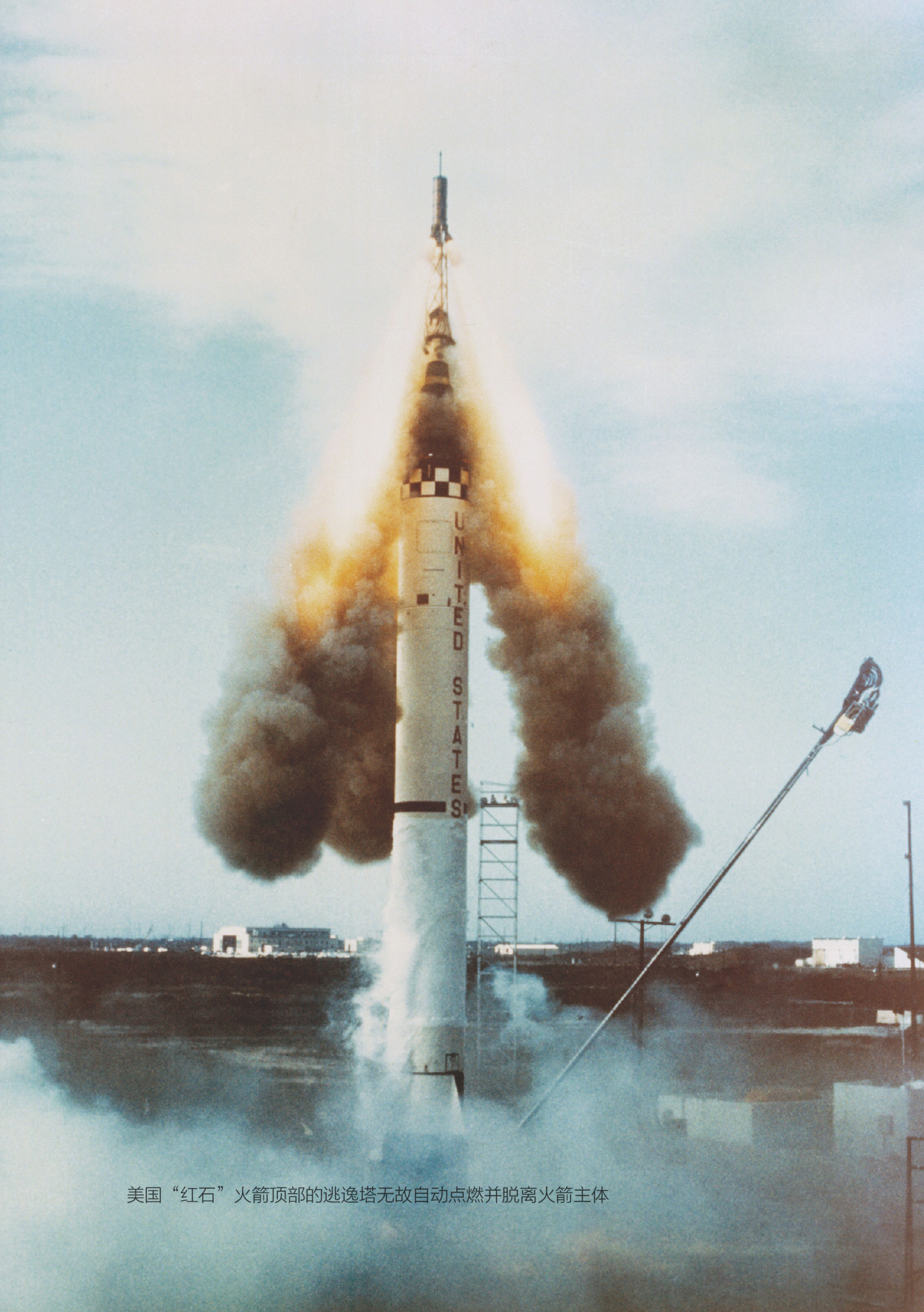

美国“龙”飞船测试逃逸塔性能



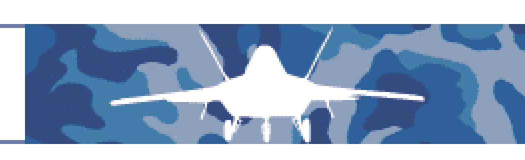
部的飞船轨道舱和返回舱带到离危险源有一定的水平距离和垂直距离的安全区域，并实现轨道舱与返回舱的分离。此时，飞船回收舱已具备了打开降落伞的高度条件和净空条件，只要降落伞打开，航天员将安然无恙地返回地面。

如果火箭在飞行 120 秒后，也就是逃逸塔抛掉后出现了危及航天员生命的意外情况时，装在飞船整流罩外边的 4 台高空逃逸发动机会按指令立即点火工作，将飞船带到安全区域。

测试中的美国“阿波罗”逃逸塔



美国“红石”火箭顶部的逃逸塔无故自动点燃并脱离火箭主体





NO.107 航天员在太空飞行时如何进食?

在太空飞行的初期，有些科学家推测，人在微重力条件下可能会发生吞咽困难，吃进去的食物可能会卡在喉咙部，咽不下去。后来的实践证明，这些推测是错误的，人在太空中吃东西并不困难，吞咽也没有问题。因为人们吞咽食物是靠肌肉，跟重力关系不大。而且据航天员反映，在微重力条件下吞咽食物，似乎比在地面上更容易。

在微重力条件下用普通餐具（如匙和叉）从开口容器中很容易取出食物，特别是有黏性的酱、浓的汤和果汁、布丁以及肉块等，更容易用匙和叉取出来。只要稍加小心，用匙取出来后还可以送入口中，中途不会飘浮或溅出。但是如果食品不带汤汁或没有黏性，则可能四处飘浮或飞散。另外，如果食品中含植物油太多，油又漂在表面，则油滴可能会飞溅出来。研究人员还发现，在微重力条件下用匙取食物比用叉还可靠。例如，用匙盛牛奶，在微重力条件下如果拿匙的手左右晃动，牛奶不会被晃出来；但如果是在地面，牛奶早被晃到地上。专家们认为，这是因为在微重力条件下液体的运动是受表面张力、内聚力和黏着力的控制；在地面，则是受地球重力的控制。

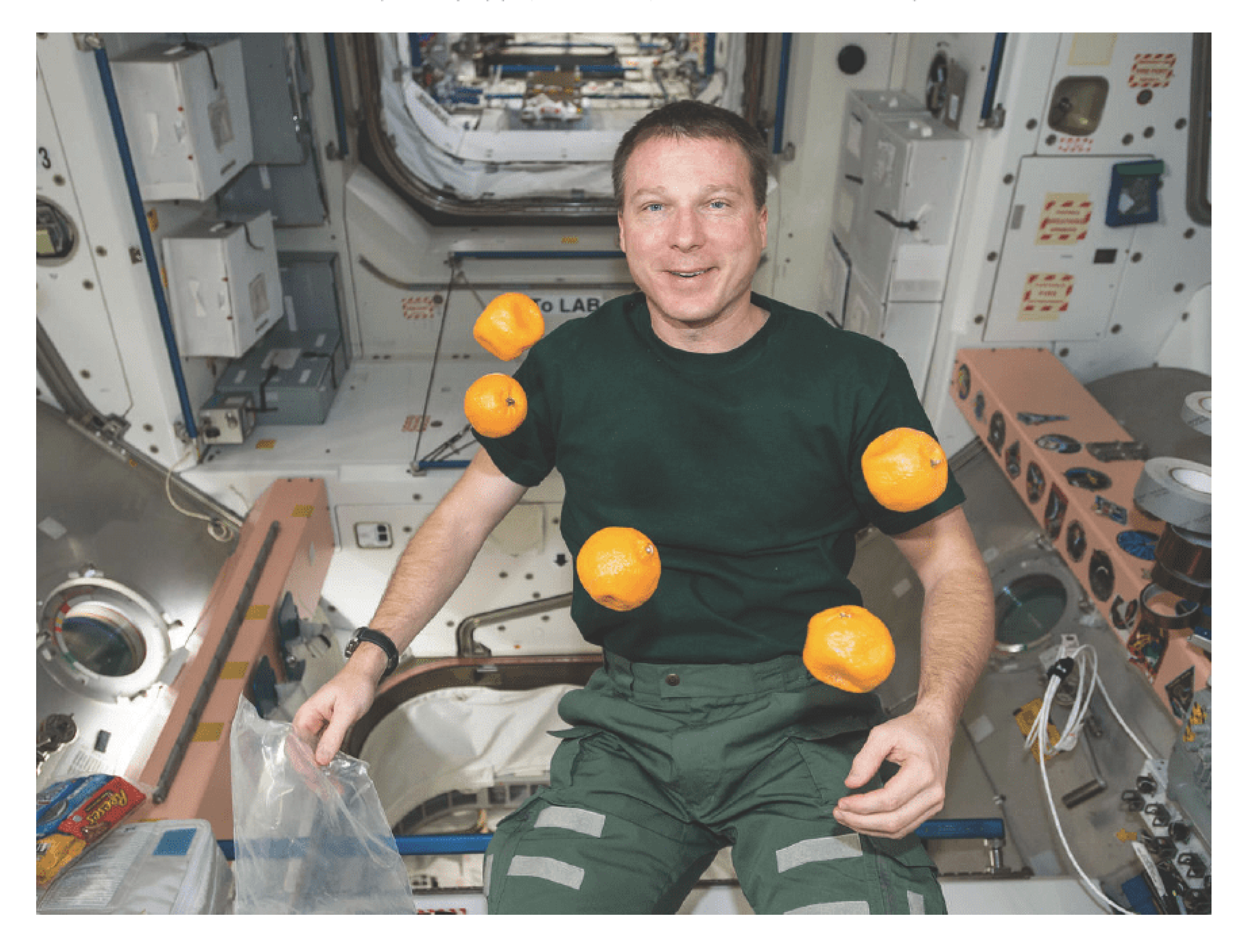


早期苏联航天员食用的糊状食品

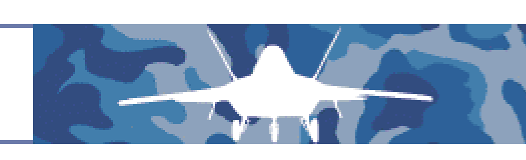
早期的太空食品是糊状食品：如苹果酱、牛肉酱、菜泥和肉菜混合物之类。这些酱糊分别包装在塑料袋中。袋的一端有一个进食管，用手挤压塑料袋，食品就通过进食管挤入口中。除糊状食品外，还有复水食品和“一口吃”的食品。航天员反映，糊状食品口感不好；复水食品加水后不易软化；像牙膏状包装的食品令人恶心；“一口吃”食品在吃的过程中会喷出许多碎屑，不仅会弄脏周围仪器设备，还可能吸入肺中，造成严重后果。



航天员试图收拢飘浮在舱内的袋装食物



飘浮在航天员身前的橘子



后来太空食品有了很大的改进，品种和花样大增，航天员的菜单上列有80多种食品和饮料，其中包括火腿块、法兰克福香肠、加汁牛肉、加汁鸡块、酱肉丸、柠檬布丁、香蕉布丁、糖水蜜桃、什锦果酱、花生酱、炖牛肉、香肠小馅饼、肉酱通心面、腊肉苹果酱、果味增香麦片、玉米片、腊肉块、巧克力布丁、水果蛋糕、小点心、增香糖果条、果冻、桃干、杏干和梨干。饮料有：柠檬汁、葡萄汁、橙汁、苹果汁、樱桃汁、葡萄柚汁、草莓汁、可可、黑咖啡、柠檬茶和速溶早餐可可。

国际空间站的食品更是丰富多样，有冷藏食品、冷冻食品、调味品和饮料等。



国际空间站中的航天员们正在进食

 NO.108　航天员经常出现的航天运动病有何危害？

航天运动病（Space sickness）又叫太空适应综合征（Space adaptation syndrome），是人类进入太空后头几天经常出现的病症，症状与在地面上晕车、晕船和晕机等运动病差不多。如头晕、目眩、脸色苍白、出冷汗、腹部不适、恶心、呕吐，有的还出现唾液增多、嗳气、嗜睡、头痛和其他神经系统症状。

小贴士

嗳气（Belching）是胃中气体上出咽喉所发出的声响，其声长而缓，俗称“打饱嗝”，是各种消化道疾病常见的症状之一。

最早出现航天运动病的是1961年9月苏联第二名上天飞行的航天员格尔曼·季托夫（Gherman Titov）。他在绕地球飞行第二圈时开始头晕、恶心和腹部不适。在做头部运动时，这些症状加重。在睡眠后症状减轻，返回地面后症状消失。


最早出现航天运动病症状的苏联航天员格尔曼·季托夫

据苏联对执行“上升”计划的5名航天员和执行“联盟”计划中的22名航天员的统计，患航天运动病的分别占40%和40.9%。美国在执行“阿波罗”登月计划时，对15名第一次飞行的航天员统计，患航天运动病的占40%。由此可见，大约有40%的航天员在首次太空飞行时会患航天运动病。有了一次太空飞行经历后，患航天运动病的比率会下降。如美国在“阿波罗”登月计划中，有过1次以上飞行经历的18名航天员，只有5人患航天运动病，占27.8%。但也有例外，如美国执行“水星”和“双子星座”计划的所有航天员，都没有患航天运动病，而在“天空实验室”计划中，有55%的航天员患航天运动病，可见航天运动病的复杂性。

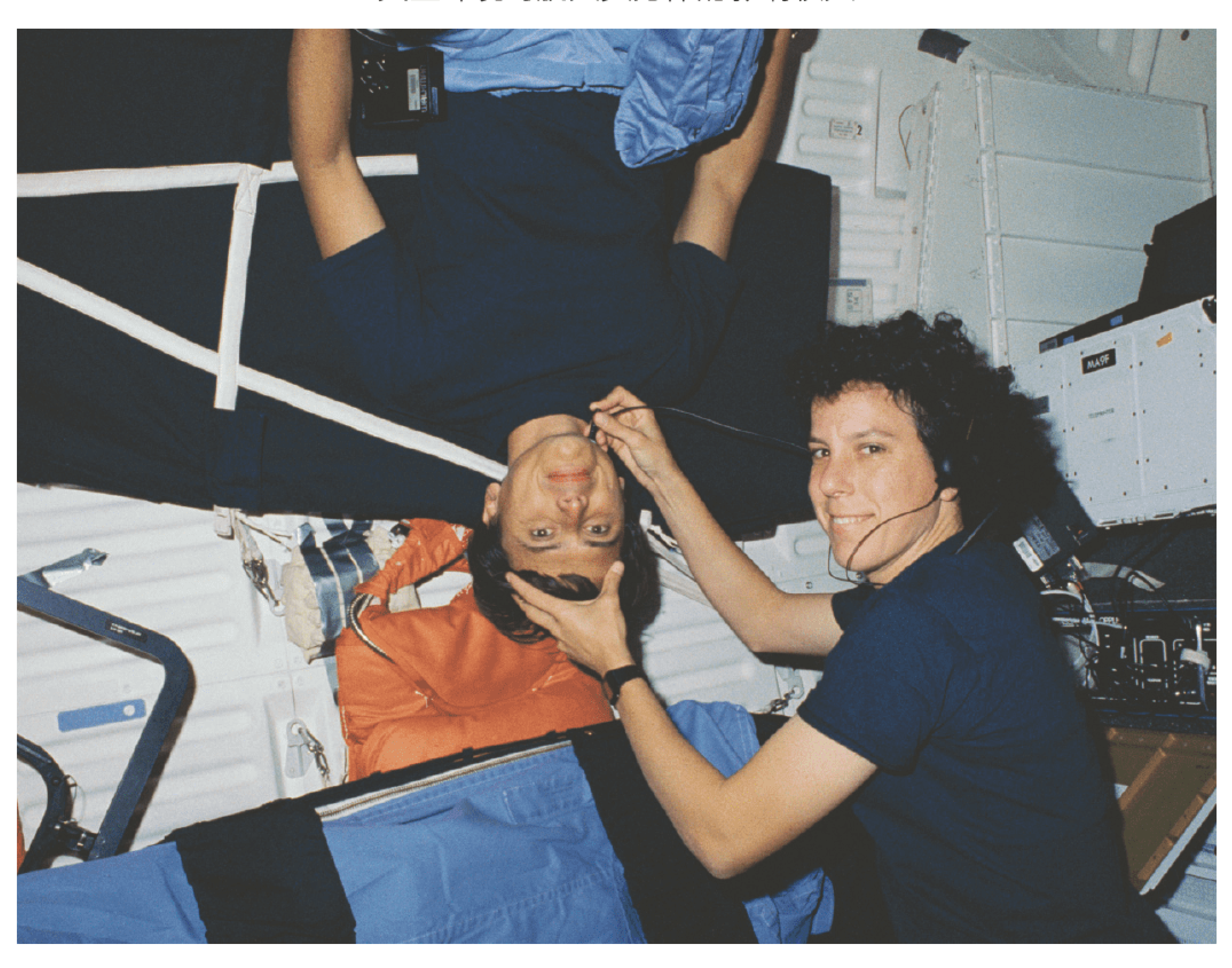
航天运动病的成因很多，主要原因可能是在失重环境中，航天员的前庭器官功能紊乱。前庭器官是协调运动、维持人体平衡的内耳神经系统。在地面上，两岁以下前庭器官发育尚不健全的儿童和丧失前庭器官功能的聋哑人，一般不会晕车、晕船和晕机，这可能是佐证之一。

航天运动病虽不是严重病症，并且经几天适应和返回地球后，症状会自行消失。但是，航天运动病会降低航天员的工作能力和工作效率。由于发病率高，从而严重影响航天任务的完成。这就使它成为一个严重的航天医学问题。因此，各航天大国都很重视对航天运动病的研究。



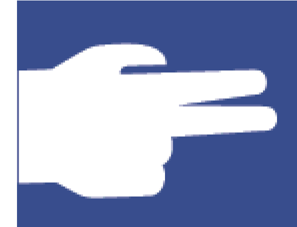


失重环境对航天员身体的影响较大



美国航天员正在检查身体状况


俄罗斯航天员返回地球后无法独立行走

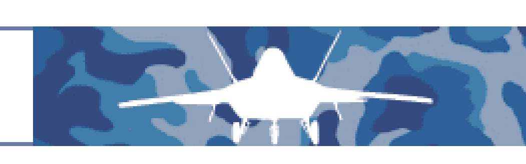
 NO.109　航天员如何对抗失重伤害?

人类无时无刻不受到地球引力的影响，生理系统已经完全适应了地球重力环境。当航天员进入失重环境后，身体会发生一系列生理变化，如果不加以防护，可能会造成不可逆转的病理性改变，在失重环境时间越长，这种改变的程度就越强烈。

当人体脱离地球重力后，首先反映出来的是前庭功能的改变，同时伴随的是体液的头向分布。随着时间的延长，心脑血管的相关机能也随之改变，肌肉会逐渐萎缩，肌力下降，时间再长，骨骼系统也会发生变化，包括代谢的变化和骨骼结构的改变，这些都会对人体的正常机能造成不利影响。

小贴士

失重使人骨软肌肉瘦，因而从太空返回的航天员，需要用担架抬下飞船。苏联一名在太空生活 180 天的航天员，连家属献给他的一束菖蒲花都拿不住。



目前，对抗失重引起的生理变化的主要办法是加强体育锻炼。不过体育锻炼项目仍要受到失重和环境狭小的制约。单杠、双杠、举重、哑铃等靠反抗重力的项目达不达锻炼的效果；各种球类、游泳、滑雪、滑冰、越野、爬山等则受失重和场地的双重限制无法进行。因此，失重环境中的体育锻炼项目主要有以下几种。

（1）踩自行车练功器。锻炼者坐在固定的车架上，身体用安全带固定，以免飘浮，双腿套在弹力带上，克服弹力带的弹力蹬动车轮，所作的功由记录器记录下来。美国“天空实验室”和苏联“礼炮”号航天站上的航天员，规定每人每天需作功 390 ～ 440 千牛米，迄今规定未变。

（2）在微型跑道上跑步。锻炼者站在皮带式滚道上，双腿套上弹性带，以模拟人在地面上的体重，迈步时，一般需克服约 490 牛的弹性带拉力。苏美都规定，每次在微型跑道上跑步的距离，应达到 3 ～ 4 千米。在太空连续生活 326 天的苏联航天员尤里 • 罗曼年科，在微型跑道上共跑了 1000 多千米。

（3）拉弹簧拉力器。弹簧的弹力与重力无关。在失重环境中拉弹簧拉力器，与在地面上一样费力，可以达到锻炼的效果。一个弹簧拉力器一般有 5 根弹簧，每拉长 0.3 米，需用力 107.8 牛。

（4）做徒手体操。这是短期航天的主要体育锻炼项目，每天两次，每次 30 ～ 60 分钟。做体操时也要当心失重的问题。曾有航天员在做头部运动和甩动四肢时，感到头好像在脖子上 360 度地转动、四肢好像离开了躯体。

（5）穿负压裤子。这是一种准体育器材，穿上后将裤子中的空气抽掉，造成下身负压，促使体液流向下身。

此外，平时和锻炼时都可穿“企鹅服”。这是苏联科学家为航天员设计的服装，因外形像企鹅而得名。它具有弹性，能给穿着者的肌肤一定的压力，对失重给予一定的补偿。

体育锻炼对抗失重影响的效果是非常明显的。如在太空生活 326 天的罗曼 • 罗曼年科，虽在后期因疲劳而逐渐停止了工作，但仍依照专家制定



在太空连续生活 326 天的
苏联航天员尤里 • 罗曼年科

的体育锻炼程序，每年坚持锻炼，使脉搏、血压始终保持正常，体重、骨钙和肌肉虽有稍许下降，但都在正常范围内。他返回地球后 3 小时就能自主活动，比 10 年前飞行 96 天后归来的情况还好。另一名航天员瓦列里・柳明，在完成 175 天太空飞行后 8 个月，又进行 185 天太空飞行，由于坚持体育锻炼，体重还增加 4.5 千克。



正在进行体育锻炼的美国女航天员佩姬・惠特森



美国女航天员的头发在失重状态下飘浮起来





失重状态下的德国航天员



NO.110　航天员进行太空行走有何作用?

太空行走（Walking in space）又称为出舱活动。是载人航天的一项关键技术，是载人航天工程在轨道上安装大型设备、进行科学实验、施放卫星、检查和维修航天器的重要手段。要实现太空行走这一目标，需要诸多特殊技术保障。

太空行走的作用

在不同历史时期，航天员进行太空行走的目的并不一样。当 1965 年 3 月苏联航天员阿里克谢 • 列昂诺夫第一次由“上升 2 号”飞船飞出舱外时，其目的有两个：一是在载人航天活动中进行一次技术性的突破，二是使苏联在航天技术方面走到美国前边，在全世界产生重大影响。当时，阿里克谢 • 列昂诺夫离开“上升 2 号”飞船密封舱，在离飞船 5 米处活动了 12 分钟。同年 6 月，美国人爱德华 • 怀特在乘“双子星座 4 号”飞船飞行时也飞出舱外，成为第一个进入太空行走的美国人，并在太空中飘浮了创纪录的 23 分钟。

从此，出舱活动的技术就为苏联和美国所共有，在这时人们才谈到太空行走的实用意义。

从多次出舱和登月过程中的月面活动看来，太空行走的作用和意义是巨大的。其主要意义与作用是完成太空作业，例如，修复载人航天器或其他航天器上的受损部件。美国人曾通过太空行走修复了天空实验室、“太阳峰年”卫星和哈勃太空望远镜。苏联航天员则通过太空行走修复过“礼炮”号空间站和组装、维修“和平”号空间站。当前正在服役的国际空间站，更是需要航天员进行多次出舱活动，才能在轨组装建成。登月活动更是体现了航天员在太空行走和太空作业的巨大作用，为人类进入外层空间和其他星球打下了良好的基础。

1969 年 7 月 20 日，美国航天员阿姆斯特朗乘坐“阿波罗 11 号”飞船在月面上着陆，第一个走出登月舱登上月球，他在月面上停留了 2 小时 31 分钟。与阿姆斯特朗一起的另一名航天员奥尔德林也跟随其后登上月球，在月球上也待了 2 小时 31 分钟。

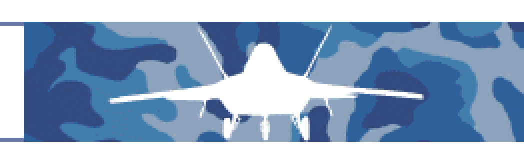
2007 年 11 月 3 日，美国航天员帕拉金斯基完成历时 7 个多小时的太空行走，成功修补了一块太阳能电池板。由于电池板依然带电，而且破损点距离工作舱足有半个足球场远，帕拉金斯基要“走”上近一个小时，英国《泰晤士报》曾评论说这次任务是美国航天史上最危险的太空行走。

太空行走的方式

（1）脐带式。早期研制的脐带式的生命保障系统与乘员舱连接，航天员身穿航天服，航天员所需要的氧气、压力、冷却工质、电源和通信等都是通过脐带由载人航天器提供的。由于脐带不能过长，所以航天员只能在航天器附近活动，如果航天器走远了则容易使脐带缠绕，像婴儿那样“窒息”而死。


进行脐带式太空行走的美国航天员

（2）便携式。这是后期发明的装在航天服背后的便携式环控生保系统。航天员出舱后与航天器分离，由于身穿舱外用的航天服，背着便携式



环控生保装置，以及太空机动装置，航天员可到离载人航天器100米远处活动。实际上，舱外航天服及便携式环控与生保系统是一个微型载人航天器，它保证人的周围有适合的压力，有通风供氧，有温湿度调节，使航天员在服装内正常生存，并能进行太空作业。

（3）机动式。有人称载人机动装置是太空“摩托艇”，因为它装有推进系统，且能自主机动飞行。例如，美国航天飞机第10次飞行时，航天员使用的机动装置有24个氮推力器，利用推力器工作，航天员可以进行6个自由度的飞行。载人机动装置外形像一个背包，航天员通过手控器控制其高压氮气从安装在不同部位的推力器喷出，就能改变飞行的速度、方向和姿态，成为名副其实的人体地球卫星。



美国航天员爱德华·怀特
进行美国航天史上第一次太空行走

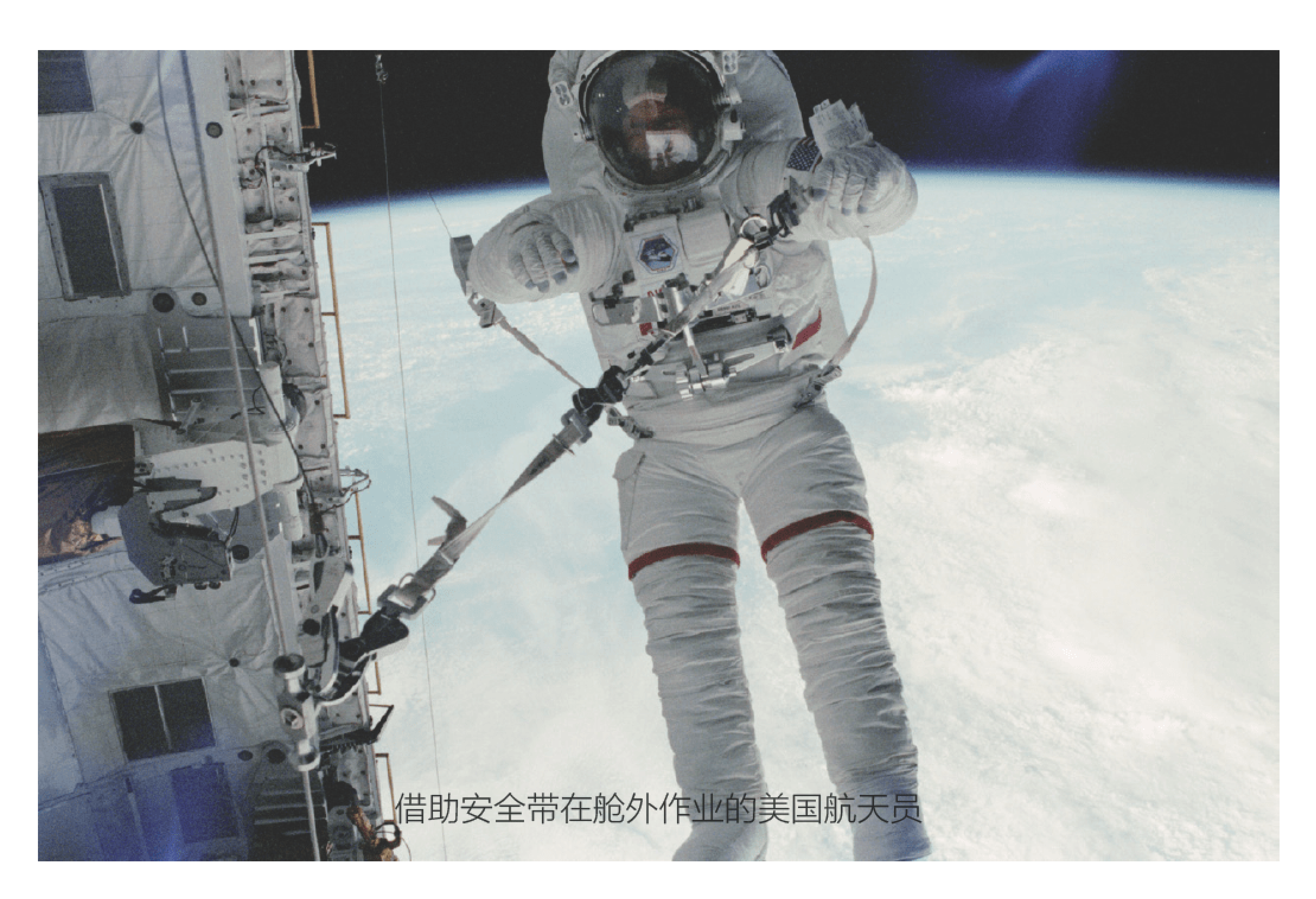


美国航天员正在维修哈勃太空望远镜

 NO.111 航天员在太空行走时如何正确使用安全带？

安全带（牵引缆索）是航天员在航天器舱内活动和太空行走时的重要安全保障。一般来说，航天员的腰部有两根长 60 厘米的安全带，手腕部有一根长 36 厘米的安全带。此外，还有一根长 10.7 米的可自动收缩的安全带，其挂钩可挂在航天飞机货舱侧边的金属滑杆上，供航天员在货舱内来回移动时使用。除航天员使用的安全带外，还有一种供舱外设备用的安全带。使用这种安全带的目的是不让这些舱外设备在太空失重状态下飘走。

根据航天员太空行走的经验，目前安全带在设计上还存在一些问题：在太空行走中，服装腰关节轴承上的防热材料覆盖住腰安全带的挂钩环，使得挂钩合不拢。因此曾经出现挂钩松脱的严重情况。腰部安全带不太结实，一名航天员在进入气闸舱时，曾将腰部安全带上的缝线撕裂。如果太空行走几个小时，再用手去操作手腕安全带的挂钩则非常困难。手腕安全带挂钩需要重新进行设计，以便减轻手的疲劳，保证单手就能操作，不需要太多的小肌肉参与控制。有时候手腕安全带挂钩需要另一只手的帮助才能闭合，在将挂钩闭合上以后，还要用手拽一拽，看看是否真的闭合上。航天手套的腕关节环会干扰安全带挂钩的操作。设备安全带过长会使设备容易撞上周围的结构。

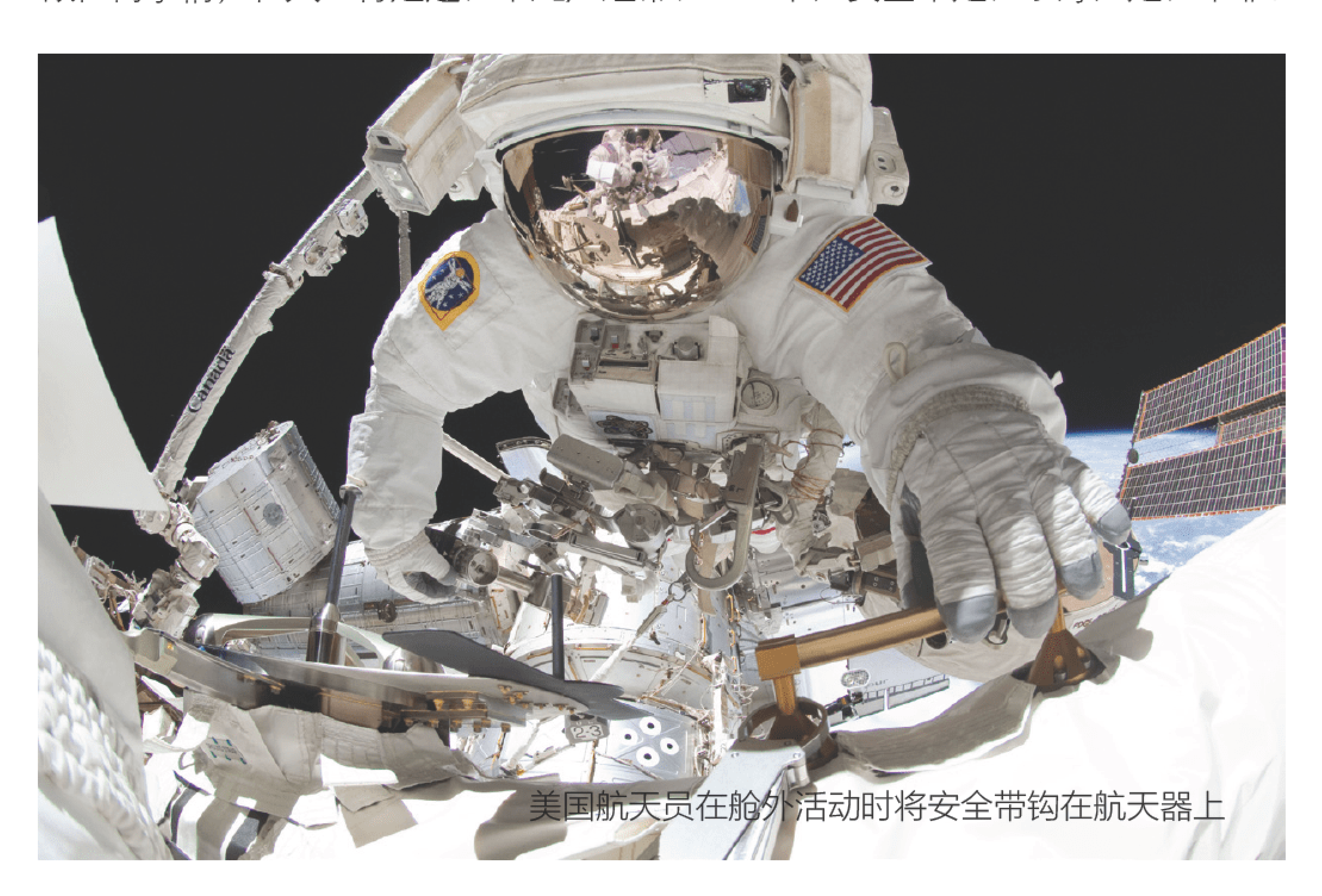

借助安全带在舱外作业的美国航天员



美国国家航空航天局（NASA）对航天员安全带的设计要求是：安全带的挂钩上应该有一个手柄，以便戴着航天手套的手也能操作使用，手柄的长度应在 9.5 厘米以上；安全带的挂钩是否闭合上应该有一个明显的标记；安全带的挂钩应该单手就能将其钩上或取下，挂钩上还应该有一个一推就打开的按钮，可方便地将安全带松开；应该提供一种快速松开挂钩的方法，以便在应急情况下迅速将安全带松开；腰部安全带应该用轻质高熔点的芳香族聚酰胺材料制成。要同时打开两个挂钩需要将两端一压就开的按钮同时按下；安全带的两头分别有一个挂钩，挂在载人航天器上的挂钩应比较大，而挂在航天员腰部的挂钩应比较小；在舱外航天服腰部一般应有两条安全带；安全带挂钩是铝合金制的，设计的负荷极限为 585 磅。

舱外设备安全带的设计标准是：用一只戴航天手套的手即可将安全带钩上或松开；所有舱外设备都应安装标准的挂钩孔座；安全带挂钩上应有开关锁的指示器，以便航天员无论是白天或是黑夜都能识别挂钩锁是开或是关；安全带挂钩应有连环锁结构，以防挂钩被无意打开脱钩；安全带挂钩必须是用金属制成。

NASA 对太空行走中安全带的使用有严格规定：无论何时何地都应该用安全带将自己和所用物品拴好；使用安全带时一定要先将下一个安全带的挂钩挂好，然后再卸下前一个安全带的挂钩，也就是说在没有将安全带系好之前，不要做任何事情；在太空行走过程中还应经常检查一下，安全带是否系好，是否牢靠。



美国航天员在舱外活动时将安全带钩在航天器上

美国航天员在检修设备前拴上安全带

 NO.112 各航天大国如何选拔女航天员？

从1963年6月16日苏联航天员瓦莲京娜·捷列什科娃进入太空成为人类首位女航天员以来，全世界共有7个国家的近60名女航天员进入过太空，为人类征服太空做出了重要贡献。

女航天员的优势

女航天员在飞船上或在空间站内工作时，有比男航天员更为独特的优势。例如，从生理构造、心理素质来看，女航天员的耐寂寞能力、心理素质稳定



程度都较男航天员更强。此外，女航天员在某些方面感觉更加敏锐，心思更加细腻，考虑问题更加周全，处理问题也更注意方式方法。

一般来说，女航天员在太空从事的工作与男航天员并不相同。从医学角度来讲，男女在体质上存在较大差别。男性比女性的身体更强壮，体力更好，在空间站内会多做一些体力活。而女航天员在飞船内或空间站内更多的是担任任务专家，主要维护一般设备和从事一些常规试验等，也可以担任科研人员，从事特殊的科学实验。

当然，也有个别女航天员具有驾驶航天器的任务，甚至能成为女指令长。例如，2007 年 10 月 23 日，美国“发现”号航天飞机与国际空间站对接后，创下了人类近 60 年太空飞行史上首次由女航天员同时指挥航天飞机和国际空间站的历史，当时“发现”号和国际空间站的指令长分别由帕梅拉 • 麦尔莱（Pamela Melroy）和佩姬 • 惠特森（Peggy Whitson）担任。





帕梅拉 • 麦尔莱（左）和佩姬 • 惠特森（右）

女航天员的选拔

按照国际惯例，航天员一般是从空军服役人员中挑选，最好是战斗机飞行员。不过，尽管世界各国都比较喜欢从飞行员中挑选，但出于对太空科学

实验的需要，美国、俄罗斯等国还是从社会上选拔了一些专家型的女航天员。

为什么航天员一般要从空军飞行员中选拔呢？因为开飞机是一个复杂的脑力劳动和艰苦的体力劳动相结合的过程，尤其是开战斗机，除了具有健康的体魄外，还要有敏捷的知觉、思维和观察能力等。此外，现代高性能战斗机以超音速在天空飞行时，飞行员还要做出各种战斗动作，对飞行员的协调性、反应能力和综合素质要求都非常高。因此，选拔女航天员自然就会首先想到战斗机飞行员。

在女航天员选拔过程中，除了严格的身体测试、专业技能和心理测试之外，还要查看三代之内的亲人是否有过疾病史等。当正式成为预备航天员后，训练就更加艰苦了，除了在离心机、人工控温室、压力舱等设备中进行模拟训练外，还需要通过沙漠和在水下生存训练等科目。另外，女航天员最好结婚生育过。除了出于对后代负责任的考虑，尽量选择已婚者的原因是已婚女性在身体、心理方面都会更成熟一些。

尽管各国在选拔女航天员时对身体条件的要求基本相同，但在选拔的侧重点上却有所不同。例如，苏联在选拔女航天员时格外注重外在形象。瓦莲京娜·捷列什科娃之所以能成为人类历史上首位进入太空的女航天员，很大程度上得益于她工人阶级的家庭背景和优美的外在形象。此外，1984 年 7 月，世界上第一位在太空行走的女航天员斯韦特兰娜·萨维茨卡娅就被公认为是一位美女。

相比之下，美国在选拔女航天员时更看重成熟稳重的心理状态，女航天员的年龄必须在 30 岁以上。2007 年 2 月 5 日，美国女航天员莉萨·诺瓦克在乘坐“发现”号航天飞机返回地球后不久，因为感情纠葛，她带着枪和刀具，从休斯敦出发驾车狂奔 1500 千米，来到奥兰多机场将情敌希普曼开枪打伤。事后，美国国家航空航天局将其开除，并通过新规定更加严格地选拔女航天员，其中就包括最严格的心理测试程序。



人类历史上首位进入太空的
女航天员瓦莲京娜·捷列什科娃





世界上第一位在太空行走的
女航天员斯韦特兰娜・萨维茨卡娅



美国第一位遭到重罪
指控的在职航天员莉萨・诺瓦克

参考文献

[1] 罗伯特 • 肖．战斗机空战：战术与机动 [M]．北京：中国市场出版社，2018．

[2] 克里斯托弗 • 钱特．空战：蓝天上的决斗 [M]．北京：当代中国出版社，2015．

[3] 深度军事．航天器鉴赏指南（珍藏版）[M]．北京：清华大学出版社，2017．

[4] 蒂姆 • 弗尼斯．世界航天器史 [M]．北京：中国科学技术出版社，2016．

[5] 伯特 • 查普曼．太空战争与防御——演进历史与研究资源 [M]．北京：电子工业出版社，2016．

[6] 经纬智库．全球航天器大图解 [M]．北京：电子工业出版社，2018．